



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS *HARDENING* DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN, WAKTU TAHAN, DAN MEDIA PENDINGIN PADA PENINGKATAN KEKERASAN BAJA AISI 1045 PADA KOMPONEN *AXLE SHAFT*

ANNISA NUR AMALIA
NRP. 02511440000056

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS
HARDENING DENGAN VARIASI TEMPERATUR
PEMANASAN, WAKTU TAHAN, DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PENINGKATAN KEKERASAN
BAJA AISI 1045 PADA KOMPONEN *AXLE SHAFT***

ANNISA NUR AMALIA
NRP.02511440000056

Dosen Pembimbing :
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

ANALYSIS OF HARDENING HEAT TREATMENT EFFECT WITH VARIATION OF HEATING TEMPERATURE, HOLDING TIM, AND COOLING MEDIA TO INCREASE HARDNESS OF AXLE SHAFT AISI 1045 STEEL

**ANNISA NUR AMALIA
NRP.02511440000056**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2018**

(This page is left intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PERLAKUAN PANAS *HARDENING* DENGAN VARIASI WAKTU TAHAN, MEDIA PENDINGIN, DAN TEMPERATUR *HARDENING* PADA PENINGKATAN KEKERASAN BAJA AISI 1045 PADA KOMPONEN *AXLE SHAFT*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANNISA NUR AMALIA

02511440000056

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. (Pembimbing 1)
2. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.P.S. (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Analisis Pengaruh Perlakuan Panas *Hardening* Dengan
Variasi Temperatur Pemanasan, Waktu Tahan, Dan Media
Pendingin Pada Peningkatan Kekerasan Baja AISI 1045 Pada
Komponen *Axle Shaft***

Nama Mahasiswa : Annisa Nur Amalia
NRP : 02511440000056
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
2. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

Abstrak

Axle shaft berfungsi sebagai penggerak roda sehingga *crane* dapat berpindah tempat. Dari proses penggunaannya, ditemukan kerusakan pada bagian *axle shaft* yang mengakibatkan berkurangnya umur pakai karena tidak sesuai material dengan spesifikasi yang digunakan perusahaan. Maka dari itu, dilakukan upaya peningkatan kualitas *axle shaft* dengan cara *hardening*. *Hardening* dilakukan pada temperatur 850°C, 875°C, dan 900°C dengan variasi waktu tahan selama 60 dan 90 menit dan media pendingin berupa air dan *brine solution*. Setelah diberikan perlakuan, dilakukan beberapa pengujian seperti uji kekerasan, uji metalografi, dan uji keausan. Didapatkan hasil nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material yang dipanaskan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 1,5 jam yang kemudian didinginkan dengan *brine solution* sebesar 735 HV. Sedangkan untuk hasil uji keausan terdapat pada material yang dipanaskan sampai temperature 900°C dengan waktu tahan 1,5 jam yang kemudian didinginkan dengan *brine solution* sebesar 0,085 gr. Didapatkan juga hasil struktur mikro berupa *lath martensite* dan austenit sisa pada semua spesimen.

Kata kunci : *Crane, Axle Shaft, Hardening, Kekerasan, Keausan, Analisa Kegagalan*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analysis Of Hardening Heat Treatment Effect With Variation Of Heating Temperatue, Holding Time, And Cooling Media To Increase Hardness Of Axle Shaft AISI 1045 Steel

Name of the student : Annisa Nur Amalia
NRP : 02511440000056
Major : Teknik Material FTI-ITS
Advisor : 1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
2. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

Abstract

Axle shaft has a function to rotate installed gea in the axle shaft which connected to the wheels and finally moved the crane. At PT. PAL, after 3 months it was found failure in the part of axle shaft due to it composition which has no same specification as the company used. Therefore, to increase the quality of axle shaft, hardening was conducted. In this experiment, variations of temperature are 850°C, 875°C, and 900°C, and the variations of holding time are 1 hour and 1.5 hours. Also, the variations of cooling media are water and brine solution. After treatment, hardness test, metallography test, and wear resistance test were conducted. The highest hardness value found in material which heated at 850°C for 1 hour with brine soltion as the cooling media by 735 HV. While the highest weight loss value found in material which heated at 900°C for 1.5 hours with brine solution as the cooling media by 0.085 gr. Beside that, micro structure like lath martensite and retained austenite was also obtained.

Keywords : Crane, Axle Shaft, Hardening, Hardness, Wear, Failure Analysis, Composition Test, Metallography, Wear Test

(This page is left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Analisis Pengaruh Perlakuan Panas *Hardening* Dengan Variasi Temperatur Pemanasan, Waktu Tahan, Media Pendingin, Pada Peningkatan Kekerasa Baja AISI 1045 Pada Komponen *Axle Shaft*”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan jalan agar pengerjaan tugas akhir dapat dipermudah.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
3. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc. dan Dian Mughni Fellicia ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS.
6. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang selalu

mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.

7. Rekan – rekan Departemen Teknik Material.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 4 Juli 2018
Penulis,

Annisa Nur Amalia
02511440000056

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Crane	5
2.2 Level Luffing Tower Crane	6
2.2.1 <i>Jib</i> (Lengan Crane)	6
2.2.2 <i>Counter Weight</i>	7
2.2.3 <i>Hoist, Trolley, dan Sling</i>	7
2.2.4 <i>Operator's Cab</i>	8
2.2.5 Base Section	8
2.2.6 <i>Tower Top</i>	8
2.2.7 <i>Slewing Unit</i>	8
2.2.8 <i>Climbing Frame</i>	8
2.3 Mekanisme Kerja <i>Crane</i>	8

2.4 Poros Roda (<i>Axle Shaft</i>).....	10
2.5 Baja AISI 1045	11
2.5 Diagram Fasa.....	12
2.6 Perlakuan Panas.....	14
2.6.1 <i>Hardening</i>	14
2.6.2 <i>Quenching dan Tempering</i>	17
2.7 Kekerasan	21
2.8 Keausan	22
2.8.1 <i>Abrasive wear</i>	22
2.8.2 <i>Adhesive wear</i>	22
2.8.3 <i>Flow wear</i>	23
2.8.4 <i>Fatigue wear</i>	23
2.9 Uji Metalografi	24
2.10 Uji Komposisi	25
2.6 Analisa Kegagalan.....	26
2.7 Penelitian Sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Diagram Alir	33
3.2 Metode Penelitian	35
3.3 Material yang Digunakan	36
3.4 Peralatan	37
3.5 Tahapan Penelitian	40
3.5.1 <i>Review</i> Dokumen Perusahaan	40
3.5.2 Preparasi Spesimen.....	40
3.5.3 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik.....	40
3.5.4 Uji Komposisi.....	41

3.5.5 Uji Kekerasan	41
3.5.6 Uji Keausan	41
3.5.7 Uji XRD	42
3.5.8 Perlakuan Panas	42
3.5.8 Proses Heat Treatment <i>Axle Shaft</i>	43
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Analisa Data	45
4.1.1 Analisis Data Operasional Material	45
4.1.2 Pengujian Makroskopik <i>Axle Shaft</i>	45
4.1.3 Hasil Uji Komposisi Kimia <i>Axle Shaft</i>	46
4.1.4 Hasil Pengujian Struktur Mikro pada <i>Axle Shaft</i>	46
4.1.5 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Axle Shaft</i>	50
4.1.6 Hasil Pengujian Keausan <i>Axle Shaft</i> Setelah di <i>Heat Treatment</i>	53
4.2 Pembahasan	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN	xxvii
BIODATA PENULIS	xlvii

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) Sketsa Level Luffing Tower Crane dan (b) Level Luffing Crane yang ada pada PT. PAL (PT. PAL).....	6
Gambar 2.2	Bagian – Bagian pada Tower Crane (www.tradeindia.com).....	7
Gambar 2.3	(a) Bagian bawah crane yang tersambung ke roda dan (b) bentuk dari axle shaft (www.mussellcrane.com)	10
Gambar 2.4	Diagram Fasa Fe – Fe ₃ C (Callister, 2009)	13
Gambar 2.5	Perlakuan panas Hardening-Tempering pada baja (Campbell, 2008)	14
Gambar 2.6	Stuktur kristal (a) BCC, (b) FCC, dan (c) BCT ...	16
Gambar 2.7	Diagram continuous cooling transformation (ASM Handbook Vol.4,1993)	16
Gambar 2.8	Tahapan pendinginan pada proses quenching (ASM Handbook Vol.4)	18
Gambar 2.9	Efek temperatur tempering pada karakteristik mekanik di temperatur kamar pada baja AISI 1050 (ASM Handbook Vol.4, 1993).....	20
Gambar 2.10	Indentor berlian untuk tes kekerasan vickers (Callister, 2009).....	21
Gambar 2.11	Mekanisme abrasi wear akibat proses cutting (Stachowiak, 2000).....	22
Gambar 2.12	Proses Perpindahan Logam karena Adhesive Wear (Stachowiak, 2000)	23
Gambar 2.13	Flow wear oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000).....	23
Gambar 2.14	Fatigue wear karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2000)	24
Gambar 2.15	Skema uji OES (Nayan, 2009).....	26
Gambar 2.16	(a) Struktur baja AISI 1045 sebelum diberikan perlakuan dan (b) struktur mikro baja AISI 1045 setelah di-quenching dengan media pendingin air dengan pemanasan temperatur 850°C (Nunura, 2015)	31

Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	34
Gambar 3.2	Material Axle Shaft	36
Gambar 3.3	Axle Shaft Assembly	37
Gambar 3.4	Mesin Wire Cut CNC EDM	37
Gambar 3.5	ARL™ 3460 Optical Emission Spectrometer	38
Gambar 3.6	Universal hardness tester	38
Gambar 3.7	Mesin polishing	39
Gambar 3.8	Olympus BX51 optical microscope	39
Gambar 3.9	Mesin uji keausan (pin on disc)	40
Gambar 3.10	Kurva perlakuan panas	43
Gambar 4.1	Axle shaft yang mengalami kegagalan	46
Gambar 4.2	Struktur mikro pada axle shaft yang gagal (AISI 1045) perbesaran 500x dengan etsa nital ...	47
Gambar 4.3	Struktur mikro axle shaft setelah hardening dengan quenching media air pada (a) temperatur 850°C selama 1 jam (b) pada temperatur 850°C selama 1,5 jam (c) pada temperatur 875°C selama 1 jam (d) pada temperatur 875°C selama 1,5 jam (e) pada temperatur 900°C selama 1 jam (f) dan pada temperatur 900°C selama 1,5 jam. Dengan fase yang terbentuk yaitu martensit (M) yang berbentuk seperti jarum dan austenit sisa (AS) yang berwarna putih.	48
Gambar 4.4	Struktur mikro axle shaft setelah hardening dengan quenching media brine solution pada (a) temperatur 850°C selama 1 jam (b) pada temperatur 850°C selama 1,5 jam (c) pada temperatur 875°C selama 1 jam (d) pada temperatur 875°C selama 1,5 jam (e) pada temperatur 900°C selama 1 jam dan (f) pada temperatur 900°C selama 1,5 jam. Dengan fase yang terbentuk yaitu martensit (M) yang berbentuk seperti jarum dan austenit sisa (AS) yang berwarna putih.	49
Gambar 4.5	Pembagian daerah indentasi	51

Gambar 4.6	Grafik kekerasan material setelah perlakuan panas dengan variasi temperatur pemanasan, waktu tahan, dan media pendingin	52
Gambar 4.7	Grafik selisih perubahan massa material axle shaft dengan variasi medi pendingin brine solution.....	55
Gambar 4.8	Grafik selisih perubahan massa material axle shaft dengan variasi media pendingin air.....	55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 4140 dan 4340 (Totten, 2007)	10
Tabel 2.2 Karakteristik mekanik baja AISI 4140 dan 4340 (Azom,2010)	11
Tabel 2.3 Komposisi baja AISI 1045 (Totten,2007)	12
Tabel 2.4 Karakteristik Mekanis baja AISI 1045 (Azom, 2010)	12
Tabel 2.5 Kekerasan dari baja karbon 1045 setelah tempering (ASM Handbook Vol.4, 1993)	19
Tabel 2.6 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin (Brooks, 2002).....	27
Tabel 2.7 Kasus kegagalan material akibat kegagalan komponen (Brooks, 2002)	27
Tabel 2.8 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002).....	28
Tabel 3.1 Penamaan Spesimen Pengujian.....	43
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Axle Shaft	46
Tabel 4.2 Hasil perhitungan volume martensit	50
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Material Baja AISI 1045 setelah Perlakuan Panas.....	51
Tabel 4.4 Rata – rata hasil pengujian ketahanan aus pada material axle shaft yang telah di-hardening	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT. PAL (Indonesia) merupakan salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak di bidang kemaritiman yang menyediakan jasa untuk membuat berbagai macam kapal seperti kapal niaga, kapal selam, ataupun kapal perang untuk kebutuhan TNI Angkatan Laut. Tak hanya jasa untuk membuat kapal, PT.PAL (Indonesia) juga menyediakan jasa untuk melakukan reparasi kapal. Tentu dengan banyaknya pekerjaan yang dilakukan oleh PT. PAL, banyak juga alat – alat yang digunakan oleh PT. PAL (Indonesia) mulai dari alat ringan sampai alat berat. Salah satu alat berat yang ada di PT. PAL yaitu *crane* dengan jenis *Level Luffing Crane* yang bisa berpindah sesuai dengan jalurnya.

Level Luffing Crane yang ada di PT. PAL digunakan untuk mengangkut barang yang memiliki beban yang besar untuk dipindahkan ke kapal ataupun untuk mereparasi kapal. Biasanya, *crane* ini bekerja pada temperatur ruangan dan dapat mengangkat beban hingga 30 ton. *Level Luffing Crane* terdiri dari beberapa bagian, salah satunya yaitu bagian dasar yang terhubung ke roda agar *crane* dapat berpindah tempat. Bagian dasar *crane* dibagi menjadi empat kaki yang masing – masing memiliki empat roda. Roda – roda tersebut tentunya dapat bergerak dikarenakan adanya poros (*shaft/axle*) yang menjadi tempat *gear* roda berputar. Pada bagian *axle* inilah ditemukan kerusakan/kegagalan. Rusaknya poros roda crane ini mengakibatkan kurang optimalnya kinerja *crane* seperti berkurangnya beban maksimal yang dapat diangkat *crane* dari 30 ton menjadi hanya 17 ton. Rusaknya *crane* juga berpengaruh pada biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk membeli material baru poros tersebut karena frekuensi penggantian poros roda menjadi lebih sering, yang tadinya bisa diganti dalam kurun waktu 2 – 3 tahun kini harus diganti hanya dalam kurun waktu kurang lebih 3 bulan.

Dari kasus tersebut dilakukan analisa kegagalan dengan



menguji komposisi dan kekerasan material poros roda (*axle/shaft*) yang ada di PT. PAL (Indonesia). Diperoleh komposisi yang tidak sesuai dengan daftar yang dipakai dengan PT. PAL (Indonesia) dan kekerasan yang rendah. Untuk mengurangi tingkat keausan yang dialami oleh poros roda tersebut, dibutuhkan peningkatan sifat kekerasan dan ketangguhan pada material tersebut. Untuk meningkatkan sifat – sifat tersebut, poros akan diberi perlakuan panas *hardening*. Proses *hardening* dilakukan dengan cara memanaskan material pada tiga variasi temperature, lalu material akan ditahan selama kurang lebih 60 menit dan 90 menit. Lalu, material akan *diquench* dengan media dua media pendingin yang berbeda, yaitu air dan *brine*. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui hasil proses *hardening* sebagai solusi kegagalan poros roda yang ada pada *level luffing crane*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan pada kekerasan dan struktur mikro untuk material baja AISI 1045?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu tahan proses *hardening* pada kekerasan dan struktur mikro untuk material baja AISI 1045?
3. Bagaimana pengaruh variasi media pendingin pada proses *hardening* untuk kekerasan dan struktur mikro pada material baja AISI 1045?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045 pada komponen *axle shaft* pada *level luffing crane*.
2. Menganalisa pengaruh variasi waktu tahan *hardening* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045 pada komponen *axle shaft* pada *level luffing crane*.



3. Menganalisa pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045 pada komponen *axle shaft* pada *level luffing crane*.

1.4 Batasan Masalah

1. Material dianggap homogen di semua sisi
2. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat material uji keluar dari dapur pemanas
3. Lama waktu pemindahan material uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua material uji.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat, khususnya cabang ilmu material dan metalurgi, PT.PAL (Indonesia) sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk :

1. Masukan untuk hal – hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada poros roda (*axle shaft*) dapat ditanggulangi.
2. Referensi pemilihan bahan serta *maintenance* pada poros roda.
3. Referensi perlakuan panas pada poros roda.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

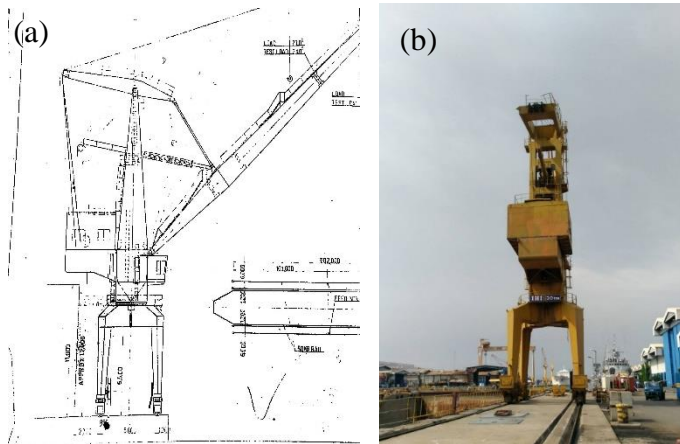
2.1 Crane

Crane merupakan mesin/peralatan yang digunakan untuk memindahkan barang yang mempunyai beban berat atau material berbahaya dari satu tempat ke tempat lain. Benda ini biasanya dipakai di dunia industri seperti pabrik, konstruksi, industri kapal, serta galangan kapal. *Crane* bisa dikontrol dengan menggunakan beberapa pendekatan untuk pemakaiannya, yang meliputi mencengkram, mengangkat, memindahkan beban, lalu menurunkan dan melepaskan beban. Cara kerja *crane* dengan mengangkat material yang akan dipindahkan, lalu memindahkan secara horizontal maupun vertikal, kemudian menaruh material di tempat yang diinginkan.

Ada beberapa macam *crane* yang biasa digunakan di beberapa industry, yaitu (Ramli, 2017):

1. *Bridge Cranes*
2. *Gantry Cranes*
3. *Tower Cranes*
4. *Boom Cranes*

Pada PT. PAL (Indonesia), *crane* yang paling banyak digunakan yaitu *Level Luffing Tower Crane* yang digunakan untuk mengangkut barang-barang yang akan dibawa oleh kapal maupun peralatan untuk mereparasi kapal seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



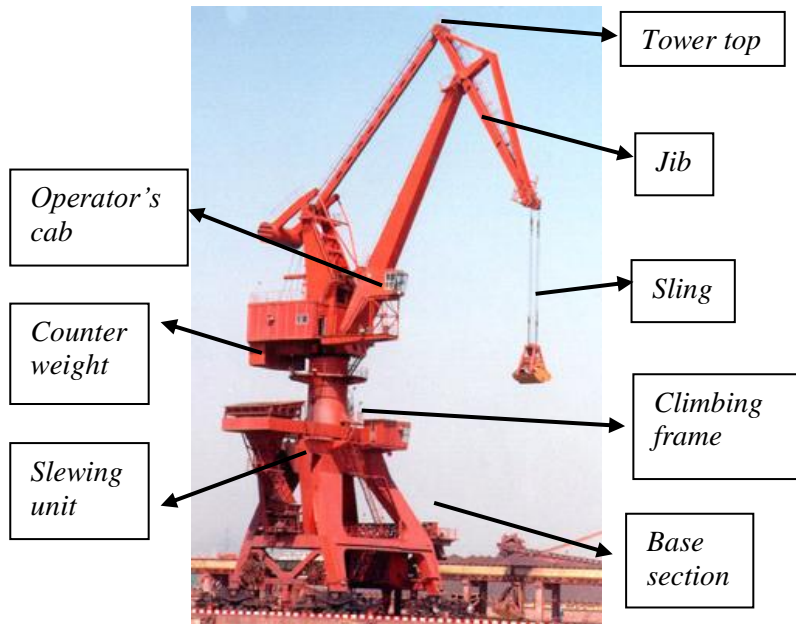
Gambar 2. 1 (a) Sketsa Level Luffing Tower Crane dan (b) Level Luffing Crane yang ada pada PT. PAL (PT. PAL)

2.2 Level Luffing Tower Crane

Bisa dilihat pada gambar 2.2 bahwa seperti *Tower Crane* pada umumnya, bagian – bagian yang dimiliki oleh *Level Luffing Tower Crane* tidak jauh berbeda, yaitu terdiri dari *Jib* (lengan crane), *counter weight*, *hoist*, *trolley* dan *sling*, *base section*, *operator's cab*, *slewing unit*, *climbing frame*, serta *tower top*.

2.2.1 *Jib* (Lengan Crane)

Fungsi bagian ini yaitu untuk mengangkat material yang dibutuhkan dengan bantuan kabel baja (*sling*). *Jib*, merupakan lengan *tower crane* yang terdiri dari elemen – elemen besi yang tersusun menjadi satu bagian rangka batang. Pemasangan jib harus sesuai dengan keperluan dan persyaratannya, baik dengan panjang yang standar maupun mencapai maksimum.



Gambar 2. 2 Bagian – Bagian pada Tower Crane
(www.tradeindia.com)

2.2.2 Counter Weight

Di bagian belakang *crane* terdapat *counter weight* yang berfungsi untuk menyeimbangkan berat *crane* dengan *jib*, agar seimbang biasanya bagian ini menggunakan beton. Jika dilihat, ada perbedaan antara *counter weight* yang terdapat pada *level luffing crane* dan *tower crane* pada umumnya. Bisa dilihat pada gambar 2.1, *counter weight* tidak terlihat dengan jelas, tetapi posisinya masih di belakang. Sedangkan pada gambar 2.2, *counter weight* bisa dilihat berada di atas dan posisinya juga dibelakang.

2.2.3 Hoist, Trolley, dan Sling

Hoist berfungsi untuk membawa material secara vertical, sedangkan *trolley* untuk membawa material secara horizontal.



Lalu *sling* merupakan kabel baja yang menyatu dengan bagian *hoist*.

2.2.4 Operator's Cab

Bagian ini merupakan bagian pusat pengendali *crane*, di bagian ini terdapat alat – alat pengendali berupa tuas. Fungsinya sebagai tempat mengoperasikan *crane*.

2.2.5 Base Section

Bagian ini merupakan bagian paling dasar pada *crane*. Biasanya bagian ini akan menempel pada pondasi untuk memperkuat pondasi *crane*, namun pada *level luffing tower crane* yang terdapat di PT.PAL (Indonesia), bagian ini tersambung dengan roda – roda yang nantinya akan membuat *level luffing tower crane* ini berjalan sesuai dengan jalurnya.

2.2.6 Tower Top

Bagian ini merupakan puncak dari *crane*.

2.2.7 Slewing Unit

Bagian ini berfungsi untuk memutar *crane*.

2.2.8 Climbing Frame

Bagian ini berfungsi sebagai alat bantu untuk operator agar dapat memasuki bagian *operator's cab*. Pada *level luffing tower crane*, bagian ini menggunakan tangga (Rivaldi, 2017).

2.3 Mekanisme Kerja Crane

Alat berat *Luffing Crane* dapat dikelompokkan ke dalam beberapa sistem utama antara lain:

1. Sistem *Hoist*
2. Sistem *Luffing*
3. Sistem *Slewing*
4. Sistem *Gantry*

Hoist merupakan gerakan mengangkat dan menurunkan barang. Terdiri dari motor listrik kecepatan tinggi, kopling, gearbox, sistem *break*, sensor proximity, drum, *pulley*, sistem *loadshell* dan tali/*wirerope*. Rem menggunakan tipe roda, dengan *electric* hidrolik. Kecepatan angkat yang berbeda dengan beban



yang berbeda dapat dilakukan dengan mengendalikan kecepatan putaran frekuensi motor variabel melalui konverter frekuensi.

Luffing merupakan gerakan maju mundur lengan/jib GLC, sehingga membuat barang-barang di bawah saat hampir horizontal selama proses Luffing. Terpasang di luffing platform yang di tengah-tengah kolom vertikal dan terdiri dari satu motor kecepatan tinggi, kopling, gear dan rack luffing, sehingga lengan bergerak maju dan mundur. Rem menggunakan tipe roda, dengan *electric* hidrolik. Dengan mengendalikan kecepatan putaran frekuensi motor variabel melalui konverter frekuensi dapat mengendalikan tingkat kecepatan luffing.

Slewing adalah gerakan memutar untuk memindahkan barang dari satu sisi ke sisi yang lain. Sistem slewing dipasang di ruang mesin dan terdiri motor vertikal, gear, sistem break, gearbox, dan dukungan rotary. Dari gerakan motor dapat membuat meja putar berputar 360° arah positif dan negatif. Rem jenis pedal hidrolik blok, dan rem manual pengunci perangkat rotary, diterapkan untuk mengunci meja dan silinder putar slewing.

Sistem gantri adalah untuk berpindah tempat dengan menggunakan media bantalan rel. Sistem Gantry terdiri dari dua roda dalam satu bogie, dengan setiap bogie di gerakkan oleh satu motor penggerak dengan kopling dan gearbox. Sistem pengereman menggunakan thruster brake, bekerja seperti mengunci/mengganjal roda. Dalam setiap satu set roda terdapat satu thruster brake. Perlakuan panas dilakukan untuk tapak roda dan tepi roda, sedangkan kedalaman lapisan pengerasan harus tidak lebih kecil dari 20mm (Tarjudin, 2017).



2.4 Poros Roda (*Axle Shaft*)



(a)



(b)

Gambar 2. 3 (a) Bagian bawah *crane* yang tersambung ke roda dan (b) bentuk dari *axle shaft* (www.mussellcrane.com)

Seperti yang sudah disinggung pada sub-bab 2.2.5, bahwa pada bagian dasar (*base section*) *level luffing tower crane*, terdapat roda – roda yang berfungsi agar *crane* dapat berpindah tempat, dapat dilihat pada gambar 2.3. Tentunya roda – roda tersebut digerakkan dengan bantuan dari poros roda yang biasa disebut *axles*. Material yang biasanya digunakan untuk poros roda yaitu material yang berada di kelas baja karbon menengah (*medium carbon steel*) dengan kadar karbon 0,4% - 0,6% ataupun baja ditambahkan dengan unsur lain agar memiliki sifat – sifat lain yang dibutuhkan seperti tahan aus, memiliki *hardenability* yang baik, *machinability* yang baik, tahan korosi, dan lain - lain . Menurut buku ASM Volume satu tahun 1993, beberapa material yang umum dipakai yaitu AISI 4140 dan AISI 4340 dengan komposisi kimia dan karakteristik mekanik seperti pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia baja AISI 4140 dan 4340 (*Totten, 2007*)

Kode Bahan	Komposisi Bahan (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 4140	0,38 – 0,43	0,15 – 0,35	0,75 – 1	0,035	0,04	0,8 – 1,1	0,15 – 0,25	-



	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 4340	0,38 — 0,43	0,15 — 0,35	0,6 – 0,8	0,03 5	0,04	0,7 – 0,9	0,2 – 0,3	1,65 - 2

Tabel 2. 2 Karakteristik mekanik baja AISI 4140 dan 4340
(Azom,2010)

Karakteristik Mekanik	AISI 4140	AISI 4340
<i>Tensile Strength</i>	655 MPa / 95000 psi	745 MPa / 108000 psi
<i>Yield Strength</i>	415 MPa / 60200 psi	470 MPa / 68200 psi
Modulus Elastisitas	190 – 210 GPa / 27557 – 30458 ksi	190 – 210 GPa / 27557 – 30458 ksi
<i>Hardness, Brinell</i>	197 HBN	217 HBN
<i>Hardness, Vickers</i>	207 HV	240 HV

2.5 Baja AISI 1045

AISI yang merupakan akronim dari *American Iron and Steel Institute* merupakan salah standar penamaan baja berdasarkan komposisi yang dimiliki baja tersebut. AISI menyatakan spesifikasi baja dengan empat atau lima angka dimana angka pertama menunjukkan jenis bajanya seperti angka “1” untuk baja karbon, angka “2” untuk baja nikel, angka “3” untuk baja nikel kromium, dan sebagainya. Kemudian untuk angka kedua, pada baja paduan sederhana menunjukkan kadar unsur paduannya. Lalu, untuk dua atau tiga angka terakhir menunjukkan kadar karbon dalam per seratus persen. Jadi, jika dilihat dari namanya maka baja tipe AISI 1045 merupakan baja karbon dengan kadar karbon sebesar kurang lebih 45% (Wahid, 1999).

Untuk komposisinya sendiri, meskipun dari namanya



tidak ada ada tambahan unsur lain tetapi jika diteliti atau di tes komposisinya maka dapat dilihat kalau sebenarnya ada juga unsur - unsur lain, namun memang dengan jumlah yang tidak banyak, seperti yang tertera pada tabel 2.3 di bawah :

Tabel 2. 3 Komposisi baja AISI 1045 (*Totten, 2007*)

Unsur	C	Mn	P (max)	S (max)
%	0,42 – 0,5	0,6 – 0,9	0,04	0,05

Dengan komposisi yang berbeda dengan baja lain, maka 1045 juga tentu memiliki karakteristik mekanis yang berbeda dengan yang lain. Karakteristik mekanis disini merupakan sifat - sifat yang dimiliki oleh material seperti kekuatan *tensile*, kekerasan, modulus elastisitas, dan lain – lain. Karakteristik mekanis untuk baja AISI 1045 dapat dilihat di tabel 2.4 di bawah.

Tabel 2. 4 Karakteristik Mekanis baja AISI 1045 (*Azom, 2010*)

<i>Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Modulus Elastisitas</i>	<i>Hardness, Brinell</i>	<i>Hardness, Vickers</i>
585 MPa 84800 psi	450 MPa 65300 psi	200 GPa 29000 ksi	163 BHN	170 VHN

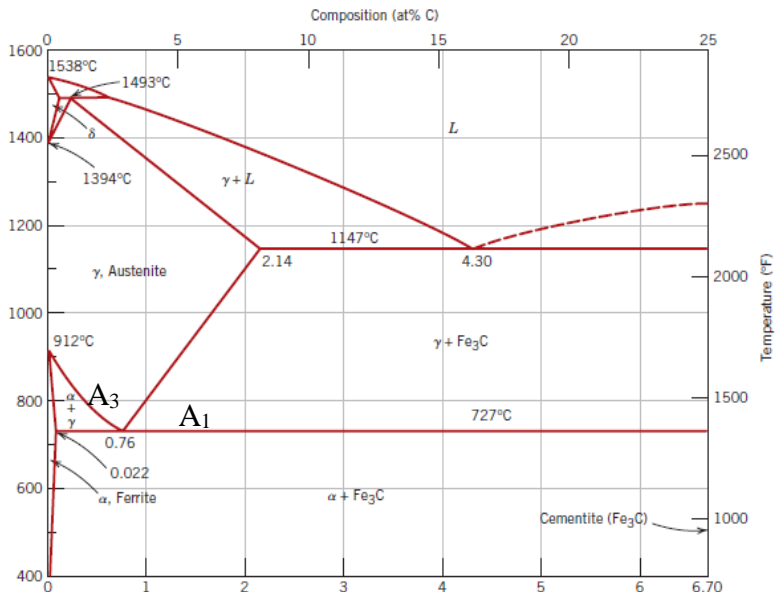
Aplikasi dari baja 1045 ini banyak digunakan sebagai *axle*, *crankshaft*, *gear* dan komponen otomotif lainnya.

2.5 Diagram Fasa

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit).



Lalu jika kita melihat pada permukaannya dengan menggunakan mikroskop, kita akan mendapatkan struktur mikro yang berbeda – beda. Jenis struktur mikro yang ada sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia pada baja dan jenis perlakuan yang diberikan kepada baja tersebut (Yopi, 2015).



Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe – Fe₃C (Callister, 2009)

Jika dilihat pada gambar 2.4, maka akan didapati bahwa:

- Pada 1.493°C, kadar karbon antara 0,10 – 0,50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \longrightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1.147°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. Liquid berubah menjadi austenit dan sementit.
- Pada 727°C, kadar karbon antara 0,025 – 6,67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. Austenit berubah menjadi alpha

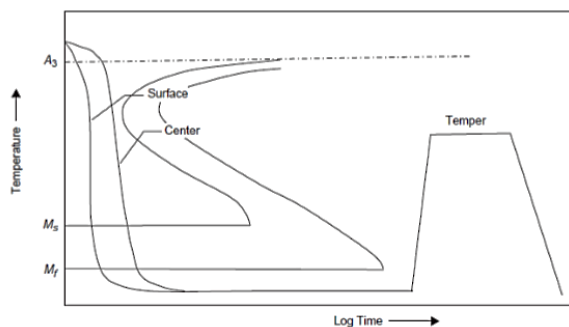


ferit dan sementit.

2.6 Perlakuan Panas

Heat treatment atau perlakuan panas merupakan salah satu cara untuk memodifikasi sifat mekanik material agar sesuai dengan yang diinginkan (Callister, 2009). Langkah pertama dalam setiap proses perlakuan panas adalah memanaskan logam / paduan itu sampai ke suatu temperatur tertentu, lalu menahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu pada media pendingin tertentu. Selama pemanasan dan pendinginan ini terjadi perubahan struktur mikro berupa atau bentuk / ukuran butir kristalnya, dan menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari logam / paduan tersebut. Ada banyak macam proses perlakuan panas yang dilakukan tergantung dari material itu sendiri dan tujuan yang ingin dicapai. Secara garis besar, berbagai macam proses perlakuan panas dapat dibedakan menurut tinggi temperatur pemanasan, waktu tahan, dan laju pendinginannya. Beberapa metode perlakuan panas yaitu *quenching*, *annealing*, *tempering*, dan *normalizing*. (Wahid, 1999).

2.6.1 Hardening



Gambar 2. 5 Perlakuan panas *Hardening-Tempering* pada baja (Campbell, 2008)

Menurut ASM Handbook Vol.4, *hardening* merupakan salah



satu cara perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan material. Proses *hardening* dengan cara memanaskan material sampai temperatur tertentu (temperatur austenisasi), ditahan beberapa saat, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), seperti yang bisa dilihat pada gambar 2.5. Tujuan dari pendinginan cepat ini agar material memiliki struktur mikro berupa martensit.

Martensit merupakan struktur mikro yang terbentuk karena karbon tidak sempat keluar dan terjebak di dalam struktur BCC sehingga salah satu sisi pada struktur kristal memanjang. Jika dilihat pada gambar 2.4, baja hipoutektoid akan berubah dari austenite yang memiliki struktur Kristal *Face Centered Cubic* (FCC), menjadi ferit yang mempunyai struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). Namun karena didinginkan dengan cepat, atom – atom karbon pada FCC tidak sempat untuk keluar dan membentuk struktur BCC, yang terjadi adalah struktur kristal FCC akan berubah menjadi *Body Centered Tetragonal* (BCT), seperti yang terlihat pada gambar 2.6 dan 2.8 (*Continuous Cooling Transformation*). Karena proses pembentukan yang tidak sempurna, terdapat distorsi pada struktur BCT yang membuat tegangan pada struktur BCT menjadi besar. Tegangan inilah yang membuat martensit memiliki kekerasan yang tinggi. Struktur Kristal yang berbentuk tetragonal tersebut juga yang membuat martensit memiliki bentuk seperti jarum. Kandungan karbon sangat penting terhadap nilai kekerasan suatu baja, semakin banyak karbon pada baja tersebut maka baja akan semakin keras dan keuletan akan menurun. Sedangkan *hardenability* (kemampuan suatu baja agar dapat dikeraskan) tergantung pada unsur paduan yang ada pada baja tersebut (Campbell, 2008). Kekerasan dan kekuatan saling berhubungan. Perlu diketahui bahwa dasaran pengujian kekerasan dan kekuatan Tarik sama, yaitu sebagai indicator pembebanan agar tidak terjadi deformasi plastis. Oleh karena itu, kekerasan dapat dikonversikan menjadi kekuatan Tarik. Material yang dapat dikonversikan yaitu baja, besi tuang, dan kuningan. Cara untuk mengkonversikan nilai tersebut dapat dilakukan dengan persamaan 2.1 (Callister, 2000).

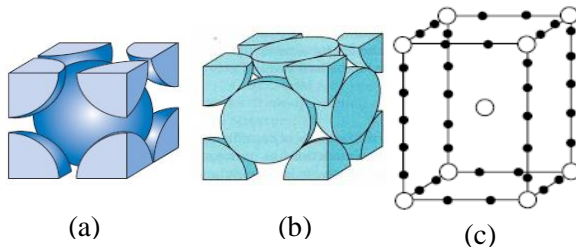


$$TS = 3,45 \times HB \quad (2.1)$$

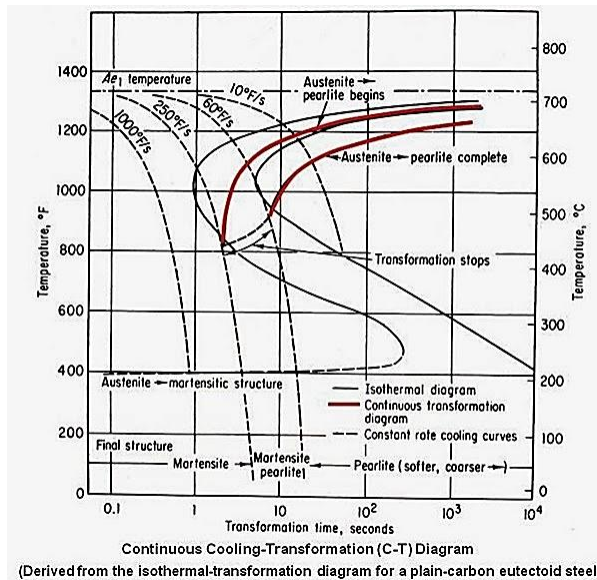
Keterangan :

TS = Tensile Strength (MPa)

HB = Hardness Brinell



Gambar 2. 6 Struktur kristal (a) BCC, (b) FCC, dan (c) BCT



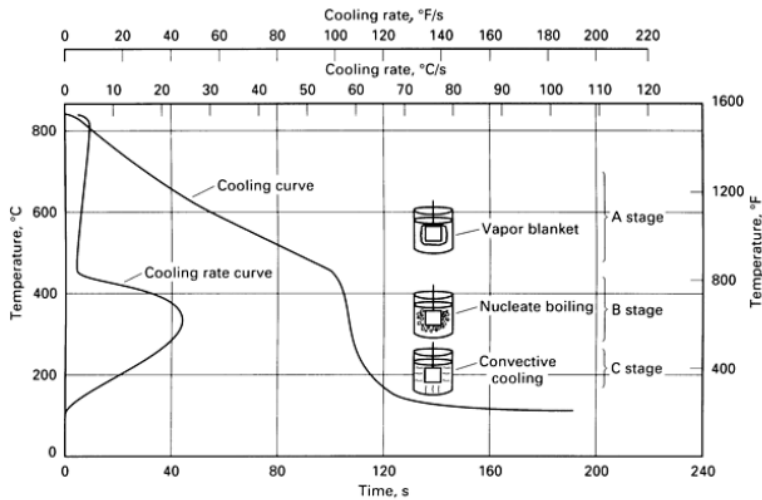
Gambar 2. 7 Diagram *continuous cooling transformation* (ASM Handbook Vol.4,1993)



2.6.2 Quenching dan Tempering

Quenching merupakan suatu proses pendinginan cepat menggunakan media pendingin seperti air, oli, dan *brine* untuk media pendingin berupa *liquid* dan helium, argon, nitrogen untuk media pendingin berupa gas.

Untuk baja hipoeutektoid, biasanya temperatur austenisasi berada di rentang $30^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ diatas temperatur kritis A_3 , sedangkan untuk baja hipereutektoid temperatur austenisasinya berada pada rentang $30^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ diatas temperatur kritis A_1 . Semakin cepat quenching, maka kemungkinan menghasilkan martensit semakin banyak. Namun dibalik itu, kemungkinan untuk terbentuknya distorsi dan *cracking* juga akan meningkat. Distorsi bisa timbul dikarenakan tiga hal, yaitu yang pertama *warping* (bengkokan), lalu deformasi thermal, dan pembentukan martensit. Sedangkan *cracking* timbul karena adanya distorsi dan saat tegangan lokal melewati tegangan maksimal pada material. Kecepatan *quenching* biasanya juga dipakai untuk mengindikasikan laju pendinginan. Derajat agitasi dari masing – masing media pendingin juga berpengaruh kepada penghilangan panas. Meningkatkan kecepatan putaran media pendingin akan membuat pendinginan semakin efektif. *Quenching* menggunakan oli sebagai media pendingin cocok untuk beberapa baja paduan. Paduan pada baja akan menggeser diagram CCT ke kanan, sehingga dengan *cooling rate* yang rendah struktur martensit akan tetap terbentuk.



Gambar 2. 8 Tahapan pendinginan pada proses *quenching* (ASM Handbook Vol.4)

Seperti yang tertera pada gambar 2.9, terdapat beberapa tahapan yang terjadi pada saat proses pendinginan dengan metode quenching, dimana :

- Pada tahap A, selimut uap mulai menutupi material. Tebal atau tipisnya selimut uap yang terbentuk tergantung pada larutan yang digunakan sebagai media pendingin. Semakin tebal selimut uap yang terbentuk, maka laju pendinginan akan semakin lambat.
- Pada tahap B, laju pendinginan terjadi paling cepat karena selimut uap pada tahap A mulai hilang dan menguap.
- Pada tahap C, laju pendinginan sedikit demi sedikit menurun dan terjadi pendinginan dengan cara konveksi.

Berbeda dengan *hardening*, tujuan dari *tempering* yaitu untuk menaikkan keuletan material. *Tempering* dilakukan setelah



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

sebelumnya material diberikan perlakuan *hardening* ataupun *normalizing*, dipanaskan sampai temperatur dibawah temperatur kritis dan didinginkan pada laju tertentu untuk meningkatkan elastisitas dan kekuatan, selain itu juga dilakukan untuk meningkatkan ukuran butir. *Tempering* biasanya juga dilakukan untuk melepaskan tegangan dan mengurangi kekerasan yang terjadi saat proses pengelasan dan untuk melepaskan tegangan dengan cara *machining*.

Untuk beberapa kasus tertentu, kekerasan tidak akan menurun oleh *tempering*. Sebagai contoh, menemper baja pada temperatur *tempering* yang sangat rendah dapat mengakibatkan tidak adanya perubahan pada kekerasan namun diperolehnya kenaikan pada *yield strength*. Selain itu juga baja paduan yang mengandung satu atau lebih pembentuk karbida (kromium, molibdenum, vanadium, dan tungsten) kemungkinan bisa terjadi *secondary hardening*, yaitu material akan meningkat kekerasannya sebagai hasil dari *tempering*. Tabel 2.5 berikut merupakan kekerasan baja 1045 setelah ditempering.

Tabel 2. 5 *Kekerasan dari baja karbon 1045 setelah tempering (ASM Handbook Vol.4, 1993)*

Grade	% karbon	Hardness, HRC, after tempering for 2h at									Heat Treatment
		205°C	260°C	315°C	370°C	425°C	480°C	540°C	595°C	650°C	
Carbon steels, water hardening											
1040	0,4	51	48	46	42	37	30	27	22	94	Normalizing pada temperatur 900°C, diquench dengan air dari 830 – 845 °C

Berdasarkan x-ray, dilatometric, dan studi tentang

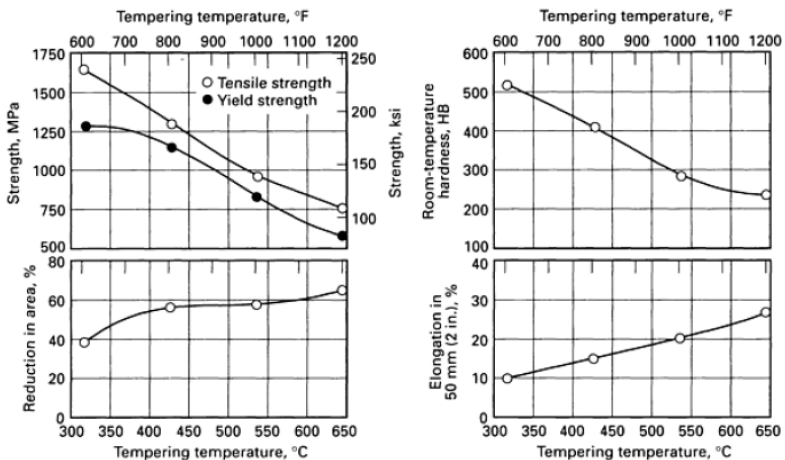


mikrostruktur, ada tiga tahapan dari *tempering*. Yaitu :

1. Pada tahap I, pembentukan transisi karbida dan mengurangi kadar karbon pada mertsentit sampai 0.25%.
2. Pada tahap II, transformasi dari austenit yang masih tersisa menjadi ferit dan sementit.
3. Pada tahap III, pergantian dari karbida dan martensit pada temperatur rendah oleh sementit dan ferit.

Sebagai tambahan pada tahap IV, presipitasi dari karbida yang tersebar dengan baik hanya ada pada baja paduan tinggi.

Gambar 2.10 menunjukkan efek dari temperatur tempering pada kekuatan, elongasi, kekerasan, dan pengurangan area dari baja karbon AISI 1050 yang ditahan selama satu jam. Dimana semakin tinggi temperatur *tempering*, kekuatan dan kekerasan dari material akan semakin menurun. Namun, reduksi area dan elongasinya akan semakin meningkat.



Gambar 2. 9 Efek temperatur *tempering* pada karakteristik mekanik di temperatur kamar pada baja AISI 1050 (ASM Handbook Vol.4, 1993)



2.7 Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan material untuk menahan deformasi plastis seperti indentasi atau *scratch*. Beberapa metode tes kekerasan telah dikembangkan selama beberapa tahun belakangan ini dimana indenter kecil ditekankan ke permukaan material yang akan dites dengan beban yang sudah diatur pada mesin. Kedalaman atau ukuran dari hasil indentasi dihitung dan dikorelasikan dengan *hardness number*, semakin lunak materialnya maka indentasi akan semakin besar dan dalam. Ada beberapa macam tes kekerasan, salah satunya yaitu *Vickers Hardness Test*. Untuk tes kekerasan yang menggunakan metode *vickers*, indenter yang digunakan yaitu berlian yang sangat kecil dan berbentuk piramid, seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 10 Indenter berlian untuk tes kekerasan *vickers*
(Callister, 2009)

Preparasi spesimen dengan baik seperti diampelas dan dipolish diperlukan agar hasil yang didapat lebih akurat. Setelah dipreparasi, material akan ditekan oleh indenter. Beban yang digunakan sebesar satu sampai seratus kilogram. Hasil yang sudah keluar kemudian diobservasi dan dihitung di bawah mikroskop. Perhitungan ini kemudian dikonversi ke nilai kekerasan. Simbol untuk tes *vickers* ini adalah HV (*Hardness Vickers*) atau VHN. Metode ini cocok untuk menghitung kekerasan dengan daerah spesimen yang kecil. Untuk perhitungan agar mendapat VHN, seperti yang tertera pada persamaan 2.2 dibawah (Callister, 2009).

$$HV = 2P \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{1,8544P}{d^2} \quad (2.2)$$



Dimana :

P = Beban (kgf)

d = rata-rata diagonal (mm)

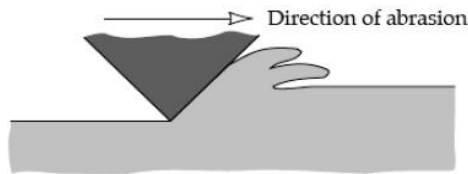
α = sudut antara ujung berlian = 136°

2.8 Keausan

Saat mesin beroperasi, komponen – komponen mesin akan saling bersinggungan dan mengalami sebuah kontak juga gesekan sesama komponennya. Akibat dari kerja komponen tersebut maka akan timbul pengikisan permukaan komponen atau sering disebut keausan (*wear*). menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* dan *thermal wear* (Hokkirigawa and Kato K, 1989). Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical Wear*) digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow and fatigue wear*.

2.8.1 Abrasive wear.

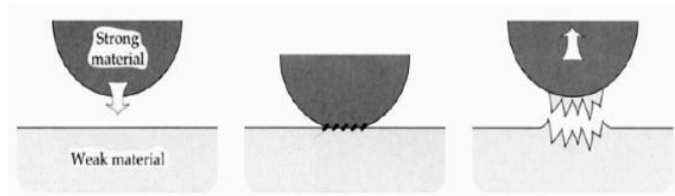
Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut (*earth moving equipment*), seperti yang terlihat pada gambar 2.12. Salah satu contoh *abrasive wear* yaitu proses permesinan seperti *cutting*.



Gambar 2. 11 Mekanisme *abravise wear* akibat proses *cutting* (Stachowiak, 2000)

2.8.2 Adhesive wear

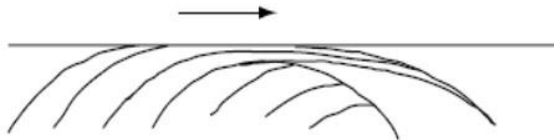
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras, seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2. 12 Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear* (Stachowiak, 2000)

2.8.3 *Flow wear*

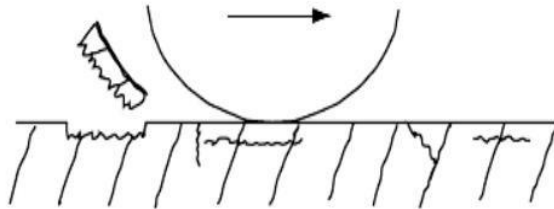
Seperti yang terlihat pada skema gambar 2.14, keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan yang lain.



Gambar 2. 13 *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

2.8.4 *Fatigue wear*

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*), seperti pada gambar 2.15. Ciri-ciri nya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar, seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain sebagainya



Gambar 2. 14 *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2000)

Mekanisme pengujian keausan dapat menggunakan alat *pin-on-disc*. Alat ini digunakan untuk memperhitungkan keausan dan gesekan material komponen tersebut. Mesin *pin-on-disc* adalah alat uji gesek dan keausan yang terdiri dari *pin* dan *disc*. *Pin* memiliki berbagai bentuk dan ukuran, umumnya berbentuk bola atau silinder batang, sedangkan *disc* berbentuk plat berdiameter dengan tebal tertentu. (Prabowo dkk, 2012). Mekanisme kerja dari pengujian ini adalah dengan menempatkan spesimen uji secara tegak lurus pada piringan *disc* berputar yang terpasang amplas pengabrasi, dan diberikan beban sebagai gaya penekan spesimen. Tingkat keausan suatu material dapat dihitung dengan menggunakan pengurangan volume benda, pengurangan massa benda, serta pengurangan dimensi benda sebelum dan sesudah pengujian.

2.9 Uji Metalografi

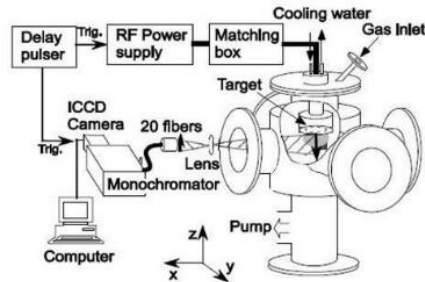
Metallografi menyangkup studi yang berhubungan dengan karakteristik struktur dari metal atau paduan. Dalam metallografi ini sangat mungkin untuk dapat menentukan ukuran butir, bentuk, dan distribusi dari berbagai macam struktur mikro dan inklusi dimana hal – hal tersebut memberikan dampak yang besar pada karakteristik mekanis dari material tersebut. Preparasi material untuk pengujian ini meliputi *cutting*, *grinding*, *mounting*, dan *polishing*. Preparasi ini sangat diperlukan agar permukaan menjadi



lebih jernih tanpa ada *scratch*, jadi struktur mikro serta batas butir yang ada pada material dapat dilihat dengan jelas. Setelah material selesai di preparasi, selanjutnya dilakukan pengetsaan atau *etching* sesuai dengan larutan yang ada pada standar. Selanjutnya, material akan ditaruh di mikroskop untuk dilihat struktur mikronya dan dianalisa (Avner, 2000).

2.10 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Pengujian OES dilakukan untuk mengetahui persentase komposisi unsur kimia dalam spesimen uji. Standar pengujian yang digunakan berdasarkan ASTM A571 yang berisi tentang metode analisis komposisi kimia untuk baja, baja tahan karat, dan baja paduan lain. Preparasi specimen dilakukan dengan mengamplas permukaan agar permukaan menjadi rata dan bersih. Gambar 2.16 menunjukkan skema ilustrasi OES. Emisi yang terbentuk pada frekuensi tertentu dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis unsur pada spesimen uji. Berdasarkan teori kuantum, elektron menempati level energi yang terendah saat kondisi normal (*ground state*). Namun, ketika atom diberi energi potensial dari luar maka elektron dapat tereksitasi keluar kulit menempati tingkat energi yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dinamakan kondisi tereksitasi. Elektron yang keluar ditangkap oleh detektor dan sistem komputer akan mengenalinya melalui konfigurasi energi dari elektronnya. Jadi unsur yang terdapat pada spesimen dapat ketahui baik secara kualitatif maupun kuantitatif.



Gambar 2. 15 Skema uji OES (Nayan, 2009)

2.6 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.6



dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material.

Tabel 2. 6 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin
(Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

2. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.6 menunjukan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2. 7 Kasus kegagalan material akibat kegagalan komponen
(Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

3. Kesalahan dalam perancangan komponen



Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

- a. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- b. Kegagalan getas akibat beban kejut
- c. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- d. *Static delayed fracture*
- e. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
- f. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
- g. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.7

Tabel 2. 8 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (fatigue)	25
Kegagalan getas (brittle fracture)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang	3
Korosi fatigue	3
Abrasi dan Erosi	3

2.7 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ismail (2016) menjelaskan tentang efek dari perlakuan panas pada kekerasan dan nilai *impact* mekanis dari baja karbon menengah. Perlakuan panas



yang dilakukan pada proyek ini yaitu *annealing*, *quenching*, dan *tempering*. Dari penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa spesimen yang diberikan perlakuan anil memiliki mayoritas struktur mikro berupa ferit yang menghasilkan nilai kekerasan yang sangat rendah namun memiliki keuletan dan kekuatan yang sangat tinggi. Bagaimanapun, setelah di-*quenching*, mikrostruktur yang ada pada spesimen berupa martensit yang menghasilkan kenaikan pada kekerasannya sehingga bersifat sangat getas dan tidak cocok untuk aplikasi manapun. Setelah *tempering* pada temperatur tinggi 600⁰C, mikrostrukturnya berubah dari martensit ke *tempered martensite* dan juga ditemukan butir ferit yang terrekristalisasi. Kemudian, hasil dari nilai kekerasan setelah *quenching* di air sebesar 11,85 HRC lebih besar daripada didinginkan di udara terbuka sebesar 8,95 HRC. Kekerasan setelah *tempering* berkurang saat temperatur *tempering* meningkat. Hasil menunjukkan bahwa mikrostruktur yang didapat setelah *tempering* merupakan kombinasi yang baik antara karakteristik mekanis karena proses ini mengurangi kegetasan dengan meningkatkan keuletan dan kekuatan, dan di saat yang sama mengurangi kekerasan saat temperatur meningkat.

Penelitian lainnya, bertujuan untuk mengetahui penyebab kegagalan yang terjadi pada *axle shaft* yang bekerja selama 296 jam. *Shaft* tersebut memiliki diameter sepanjang 7 cm dan terbuat dari baja dengan tipe 42CrMo4. Bagian dari *axle shaft* yang mengalami kegagalan terbut dari baja yang dikenakan perlakuan *induction – hardened* dianalisa untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan tersebut. Mikroskop optik serta *Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy* (FEG-SEM) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) digunakan untuk mengkarakterisasi mikrostruktur *axle shaft* tersebut. Analisa mikrostruktur dan *micro-hardness* menunjukkan bahwa *axle shaft* tidak diberikan perlakuan yang sesuai, dapat dilihat dari *crack* yang ditemukan. Perilaku ini terjadi karena perbedaan mikrostruktur yang ternyata hasilnya martensit yang setara dengan 735 HV dan campuran dari struktur non-homogen yang terdiri dari perlit dan



ferit dengan kekerasan 210 HV. Hasil dari analisa tersebut menyatakan bahwa kegagalan berasal dari struktur martensit yang bersifat getas dikarenakan perlakuan panas yang tidak sesuai. Terlebih lagi beban yang bekerja pada sepanjang spesimen pada arah longitudinal membuat komponen lebih rentan terhadap kegagalan (Das, 2014).

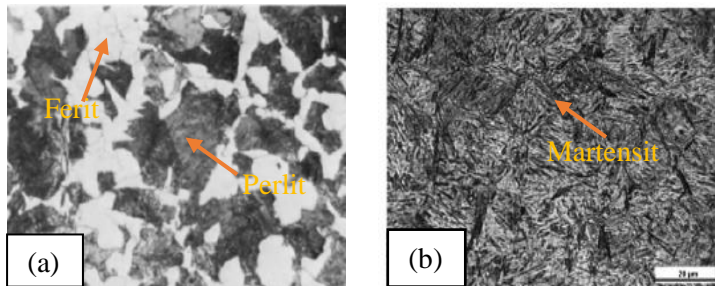
Pada penelitian ini, penulis bertujuan untuk menganalisa pengaruh proses perlakuan panas dengan variasi temperatur hardening dan media pending sebagai solusi kegagalan untuk PT. Semen Indonesia. Material yang digunakan yaitu *high chromium white cast*. Setelah didapatkan akar permasalahannya berupa material yang tidak sesuai standar, didapatkan solusi dari kegagalan ini yaitu perlakuan panas yang dapat untuk meningkatkan kekerasan berupa *hardening* dengan variasi temperatur 1050°C, 1000°C, dan 950°C dengan waktu tahan 60 menit, yang kemudian di-*quenching* dengan media pendingin oli, *brine solution*, dan udara. Kemudian dilakukan uji kekerasan, uji metalografi, dan uji keausan untuk dibandingkan dengan kondisi awalnya. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan hasil berupa kekerasan dan ketahanan aus maksimal pada temperatur 1000°C dengan media pendingin *brine solution* dengan kekerasan sebesar 814 HV dan laju keausan sebesar 1,96 mm/jam. Lalu, kekerasan serta laju keausan yang paling rendah didapatkan pada temperatur 1050°C dengan kekerasan 586 HV dan laju keausan sebesar 5 mm/jam (Pandu, 2017).

Selanjutnya, penelitian ini membahas sejauh mana variasi media pendingin berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan Tarik baja karbon medium AISI 1045. Sehingga bila diketahui tingkat perbandingan kekuatan tariknya dan kesesuaiannya terhadap aplikasi dan kegunaannya, maka dapat diambil suatu keputusan untuk menggunakan proses *quench* pada media yang tepat, agar menghemat biaya dan waktu produksi. Material yang digunakan yaitu baja AISI 1045 dengan kadar karbon 0,43 – 0,48%. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa kekuatan terhadap beban tarik yang paling tinggi diperoleh pada



perlakuan *quench* menggunakan media pendingin oli SAE 40 sebesar 189 kN. Rendahnya kekuatan terhadap beban tarik dengan perlakuan *quenching* menggunakan media air dikarenakan adanya retak yang diakibatkan laju pendinginan yang cepat . (Rizal, 2014).

Penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Nunura (2015) bertujuan untuk pengaruh temperatur austenitisasi pada perlakuan panas jominy terhadap *hardenability* baja AISI 1045. Variasi temperatur yang digunakan yaitu 800°C, 850°C, dan 900°C. Sebelum didinginkan, material terlebih dahulu diberikan perlakuan *normalizing* lalu dipanaskan kembali. Analisa metalografi dan profil kekerasan *jominy* digunakan untuk mengevaluasi hardenabilitas variasi temperature austenitisasi. Hasil dari penelitian ini, didapatkan hasil berupa struktur martensit pada jarak 1,6 mm dari ujung *quenching* dengan etsa nital seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2. 16 (a) Struktur baja AISI 1045 sebelum diberikan perlakuan dan (b) struktur mikro baja AISI 1045 setelah di-*quenching* dengan media pendingin air dengan pemanasan temperatur 850°C (Nunura, 2015)

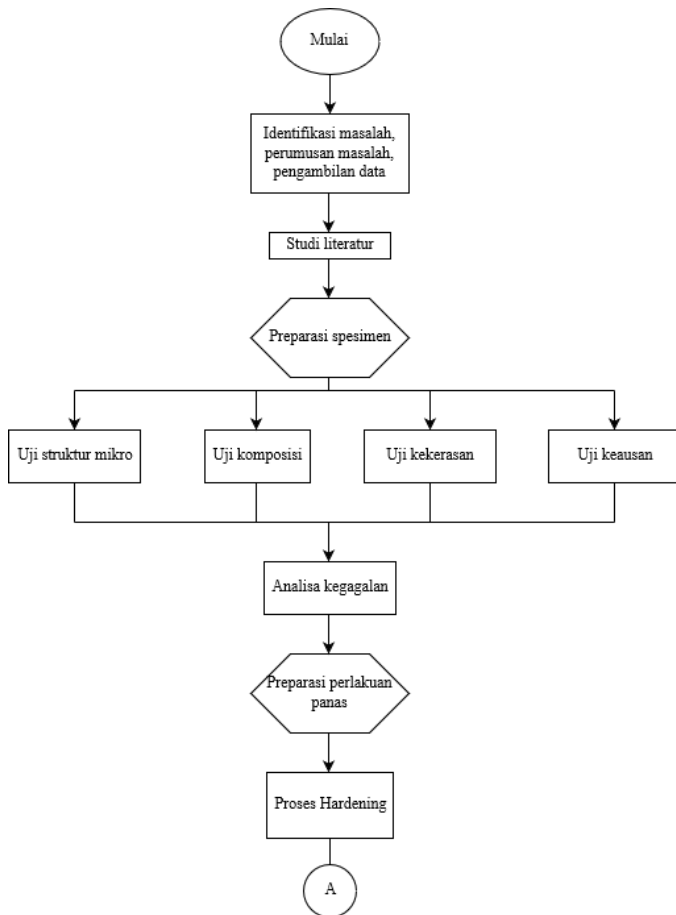


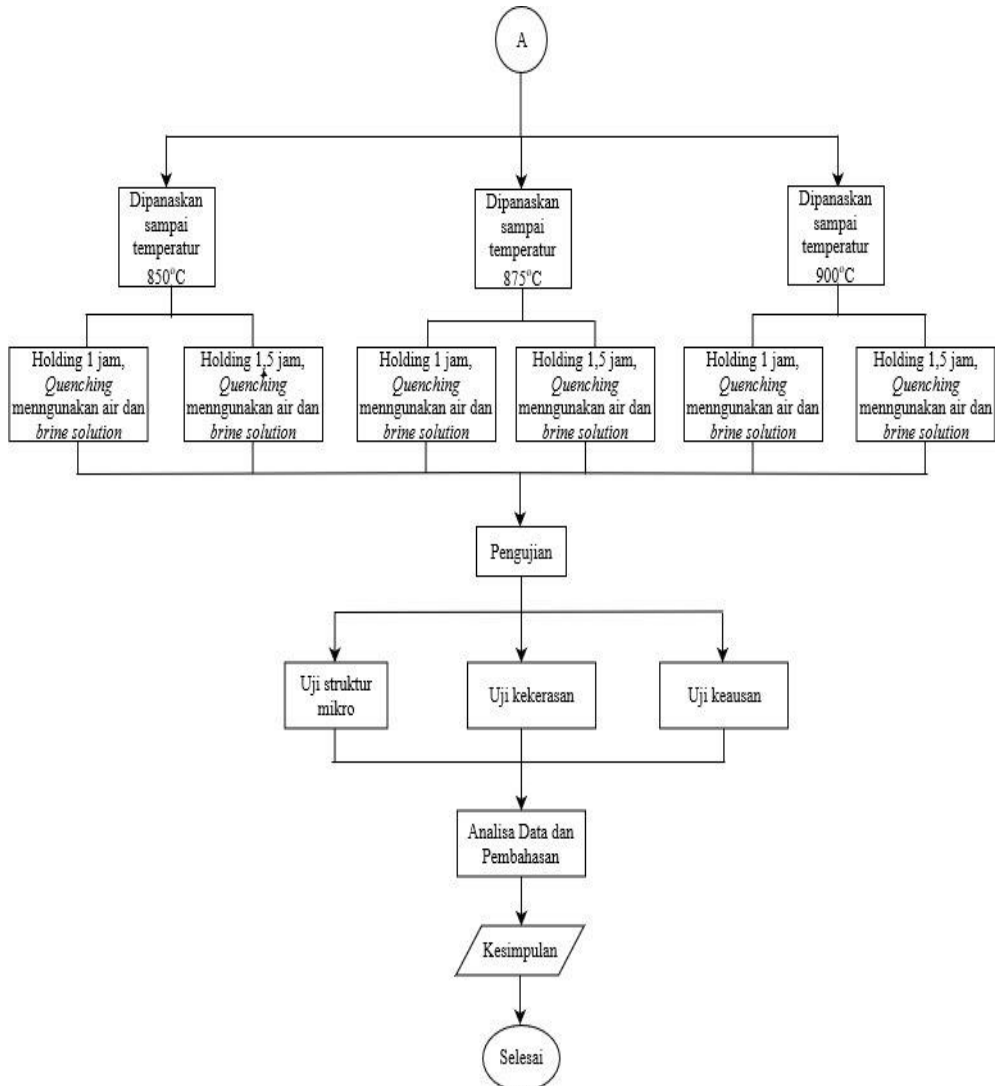
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain adalah:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. PAL (Indonesia) dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. PAL (Indonesia) yang ahli di bidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan khususnya keausan pada poros roda *crane*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu: mengkaji *record* dari poros roda yang ada pada PT. PAL (Indonesia), pengamatan makro dengan menggunakan kamera, pengamatan mikro dengan mikroskopik optik, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan dan uji keausan pada material poros roda.

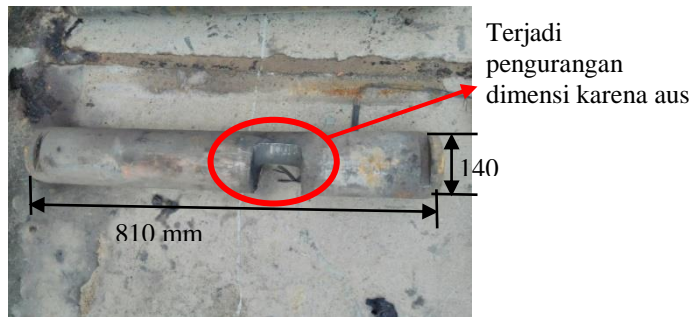
4. Penelitian

Metode ini dilakukan dengan meneliti perlakuan – perlakuan yang dapat diterapkan pada material sebagai solusi kegagalan. Metode ini meliputi eksperimen, studi literatur, dan pengujian material – material yang telah diberikan perlakuan.



3.3 Material yang Digunakan

Pada pengecekan berkala yang dilakukan oleh PT PAL (Indonesia), didapati bahwa *Axle Shaft* pada salah satu *crane* mengalami keausan (*wear*) yang tidak wajar, ditunjukkan pada Gambar 3.2. Hal ini ditunjukkan dengan tereduksinya dimensi dari *Axle Shaft*. Menurut engineer pada PT. PAL (Indonesia), umur pakai komponen tersebut masih lama, yaitu selama 2 sampai 3 tahun. Namun kenyataannya setelah 3 bulan, *Axle Shaft* pada salah satu *crane* tersebut telah mengalami kerusakan (keausan).

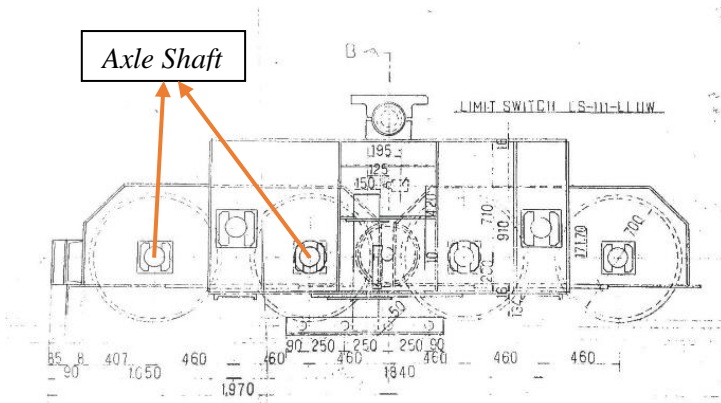


Gambar 3. 2 Material *Axle Shaft*

Material yang digunakan oleh PT. PAL (Indonesia) merupakan material *Axle Shaft* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Berikut ini adalah data-data yang mencakup penggunaan dan kondisi lingkungan kerja serta gambar teknik dari *axle shaft*.

- Temperatur = 30°C
- Kapasitas = 30 ton/hour
- *Running time* = 9 hour/day
- *Lifetime* = 3 tahun



Gambar 3. 3 *Axle Shaft Assembly*

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris

Digunakan untuk mengukur spesimen.

2. Mesin *Wire Cut*

Digunakan untuk memotong spesimen. Mesin *wire cut* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 4 *Mesin Wire Cut CNC EDM*



3. Kamera

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.

4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji. Mesin uji komposisi (OES) ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.5 *ARL™ 3460 Optical Emission Spectrometer*

5. Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Mesin uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.6 *Universal hardness tester*

6. Amplas SiC grade 80 hingga 2000



Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi.

7. Polishing

Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. Mesin *polishing* ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 7 Mesin *polishing*

8. Larutan Etsa

Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. Larutan etsa yang digunakan adalah Etsa Nital dengan kandungan 5 mL HNO_3 + 95 mL *ethanol* (ASTM E407, 2007).

9. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji. Mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 3.7

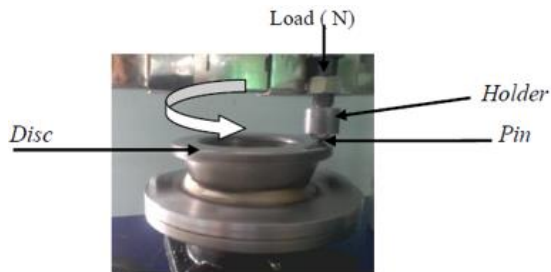


Gambar 3. 8 Olympus BX51 optical microscope



10. Mesin *Pin on Disc*

Digunakan untuk mengetahui sifat ketahanan aus (*wearability*) pada material uji. Mesin uji keausan ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Mesin uji keausan (*pin on disc*)

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *Axle Shaft* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *crane*
2. Data operasi
3. *Maintenance record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan *Axle Shaft* pada PT. PAL (Indonesia). Persiapan ini berupa proses *cutting* material.

3.5.3 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara



makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera *smartphone* dan mikro dengan mikroskop optik. Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui *optical microscope* terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan struktur mikronya.

3.5.4 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Identifikasi komposisi kimia material menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di PT. Logamindo Sarimulya yang berada di daerah Sidoarjo Surabaya untuk mengetahui komposisi yang ada pada *Axle Shaft*.

3.5.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Vickers* dimana dalam pengujiannya memakai indenter intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.

3.5.6 Uji Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus (*wearability*) dari spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *pin on disc*, dimana dalam pengujiannya spesimen uji yang diberi beban seberat 1 kg diletakkan pada piringan *disc* yang berputar. Pengujian ini mengacu pada ASTM



G99 dengan metode *pin on disc*. Skema uji ketahanan aus dapat dilihat pada Gambar 3.9.

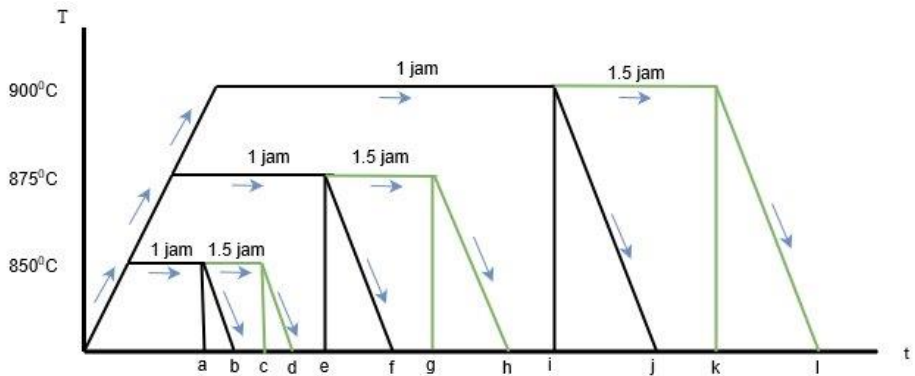
3.5.7 Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan hanya pada sampel spesimen untuk mengetahui *residual stress* yang terbentuk setelah proses perlakuan panas. Adapun parameter dari pengujian XRD yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Sinar radiasi : Cu-K α
- b. 2θ range : 10 – 90 derajat
- c. Scan speed : 2 derajat/menit

3.5.8 Perlakuan Panas

Seperti yang tertera pada gambar 3.10, perlakuan panas yang dilakukan untuk meningkatkan kekerasan pada material *Axle Shaft* adalah dengan proses *hardening* dimana pada spesimen (a), (b), (c), dan (d) dipanaskan pada temperature 850°C lalu di-*holding* selama 1 jam untuk material (a) dan (b), dan 1,5 jam untuk material (c) dan (d). Lalu untuk pendinginannya, material (a) dan (c) menggunakan air, sedangkan material (b) dan (d) menggunakan *brine solution*. Kemudian perlakuan yang diberikan kepada material (e), (f), (g), dan (h) yaitu dipanaskan sampai temperature 875°C yang kemudian di-*holding* selama 1 jam untuk material (e) dan (f), dan 1,5 jam untuk material (g) dan (h). Untuk proses pendinginan yang diberikan yaitu pendinginan menggunakan air untuk specimen (e) dan (g) dan *brine solution* untuk specimen (f) dan (h). Selanjutnya untuk specimen (i), (j), (k), dan (l) diberikan perlakuan dengan cara dipanaskan sampai temperature 900°C yang kemudian di-*holding* selama 1 jam untuk specimen (i) dan (j), dan 1,5 jam untuk specimen (k) dan (l). Lalu untuk specimen (i) dan (k) didinginkan menggunakan air, sedangkan untuk specimen (j) dan (l) menggunakan *brine solution*.



Gambar 3. 10 Kurva perlakuan panas

3.5.8 Proses Heat Treatment Axle Shaft

Untuk mengatasi kegagalan yang terjadi pada *axle shaft*, pada penelitian ini dilakukan upaya *heat treatment* dengan cara *hardening* untuk memperbaiki sifat kekerasan dari komponen tersebut. Proses *hardening* dilakukan dengan cara dipanaskan pada temperatur 850°C, 875°C, dan 900°C dengan waktu tahan 1 jam dan 1.5 jam, serta media pendingin berupa air dan *brine solution* kepada 12 spesimen pengujian. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Penamaan Spesimen Pengujian

Kode Spesimen	Jenis Perlakuan
AISI 1045 TP	Material komponen <i>shaft</i>
AISI 1045 P1	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 850°C + <i>holding time</i> 1 jam + <i>water quench</i>
AISI 1045 P2	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 850°C + <i>holding time</i> 1 jam + <i>brine quench</i>



AISI 1045 P3	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 850°C + <i>holding time</i> 1,5 jam + <i>water quench</i>
AISI 1045 P4	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 850°C + <i>holding time</i> 1,5 jam + <i>brine quench</i>
AISI 1045 P5	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 875°C + <i>holding time</i> 1 jam + <i>water quench</i>
AISI 1045 P6	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 875°C + <i>holding time</i> 1 jam + <i>brine quench</i>
AISI 1045 P7	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 875°C + <i>holding time</i> 1,5 jam + <i>water quench</i>
AISI 1045 P8	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 875°C + <i>holding time</i> 1,5 jam + <i>brine quench</i>
AISI 1045 P9	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 900°C + <i>holding time</i> 1 jam + <i>water quench</i>
AISI 1045 P10	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 900°C + <i>holding time</i> 1 jam + <i>brine quench</i>
AISI 1045 P11	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 900°C + <i>holding time</i> 1,5 jam + <i>water quench</i>
AISI 1045 P12	AISI 1045 dengan pemanasan pada temperatur 900°C + <i>holding time</i> 1,5 jam + <i>brine quench</i>

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Analisis Data Operasional Material

Pada *maintenance* yang dilakukan oleh PT. PAL Indonesia (Persero), ditemukan bahwa *axle shaft* pada *level luffing crane* mengalami keausan yang tidak sesuai dengan umur desainnya. Hal ini ditunjukkan dengan terdapat perubahan dimensi dari *axle shaft* yang cukup signifikan. Menurut *engineer* yang berada di PT. PAL Indonesia (Persero), umur pakai dari komponen *axle shaft* ini sekitar kurang lebih 2-3 tahun. Namun di kenyataannya, material *axle shaft* ini hanya bertahan kurang lebih 3 bulan pemakaian.

Berikut merupakan data – data dari *axle shaft* mencakup penggunaan dan kondisi lingkungan kerja, dengan gambar Teknik yang dapat dilihat pada gambar 3.

- Temperatur = 33°C
- Kapasitas = 30 ton
- *Running time* = kurang dari 36 m/jam
- *Lifetime* = 2-3 tahun

4.1.2 Pengujian Makroskopik Axle Shaft

Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro menggunakan kamera pada *shaft* yang mengalami keausan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari gambar dilihat bahwa bagian yang mengalami keausan terdapat di bagian pinggir *shaft*. Hal tersebut terjadi dkarena pada saat *crane* berjalan, terjadi gesekan antara *axle shaft* dengan roda gigi (*gear*). Keadaan tersebut terjadi dengan frekuensi yang tinggi, sehingga material *axle shaft* yang kekerasannya dibawah roda gigi mengalami keausan. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Stachowiak, dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah kepada pembentukan – pembentukan retakan – retakan mikro. Retakan – retakan mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan pada material.



Gambar 4. 1 *Axle shaft* yang mengalami kegagalan

4.1.3 Hasil Uji Komposisi Kimia *Axle Shaft*

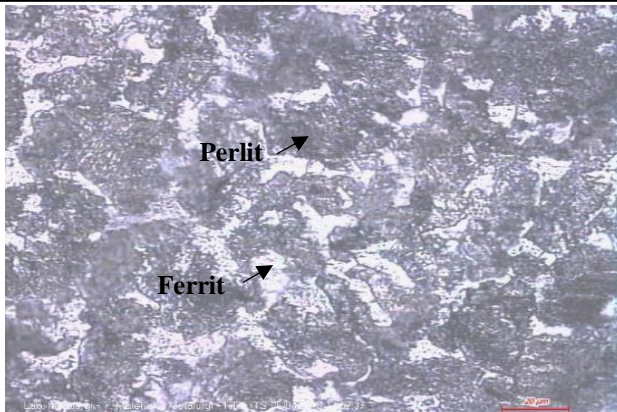
Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia yang telah dilakukan, didapatkan hasil seperti yang tertera pada Tabel 4.1 dimana material *shaft* yang mengalami kegagalan adalah material baja karbon menengah yaitu baja AISI 1045 atau S45C. Untuk tipe material yang digunakan sebenarnya sudah sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu ASTM A29. Namun, dari segi kekerasannya masih belum sesuai dengan ASTM A291. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan kekerasan material *shaft* agar memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Tabel 4. 1 Komposisi Kimia *Axle Shaft*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
%	0,435	0,27	0,71	0,01	0,024	0,15	0,067	0,022

4.1.4 Hasil Pengujian Struktur Mikro pada *Axle Shaft*

Pengujian struktur mikro atau metalografi pada *axle shaft* yang mengalami kegagalan dilakukan untuk mengetahui struktur awal yang terbentuk pada material tersebut sebelum diberikan perlakuan panas, serta struktur awal pada saat material mengalami kegagalan. Pengujian dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x dengan etsa nital. Struktur mikro pada AISI 1045 yang terlihat pada Gambar 4.2 akan dibandingkan dengan struktur mikro yang ada pada besi setelah diberi perlakuan yang merupakan standar dari *axle shaft*, ditunjukkan pada Gambar 4.3.

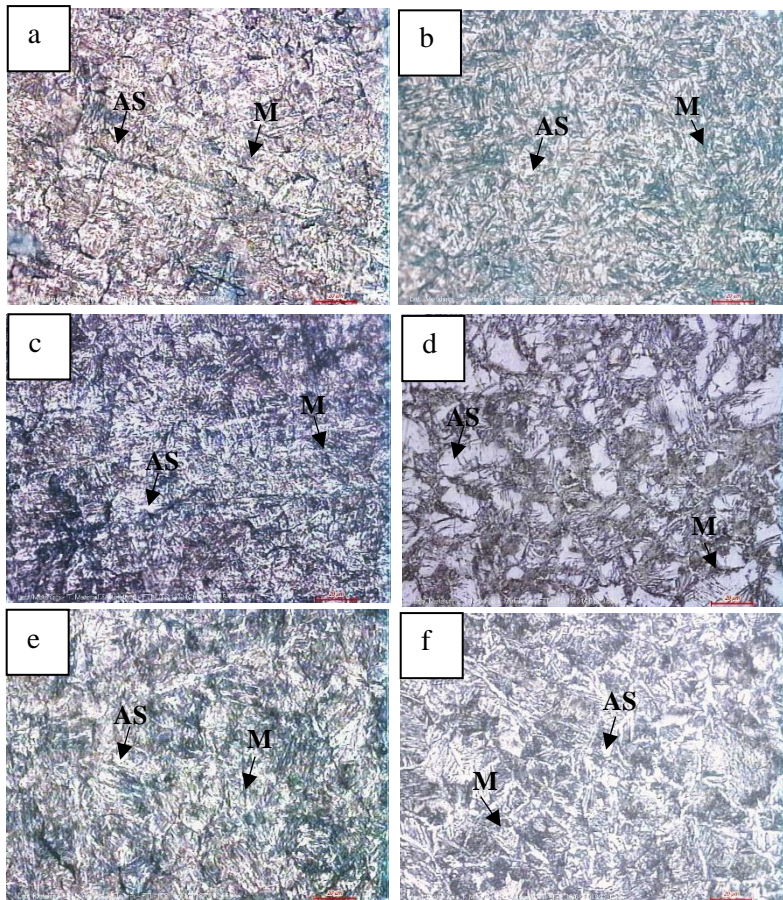


Gambar 4. 2 Struktur mikro pada *axle shaft* yang gagal (AISI 1045) perbesaran 500x dengan etsa nital

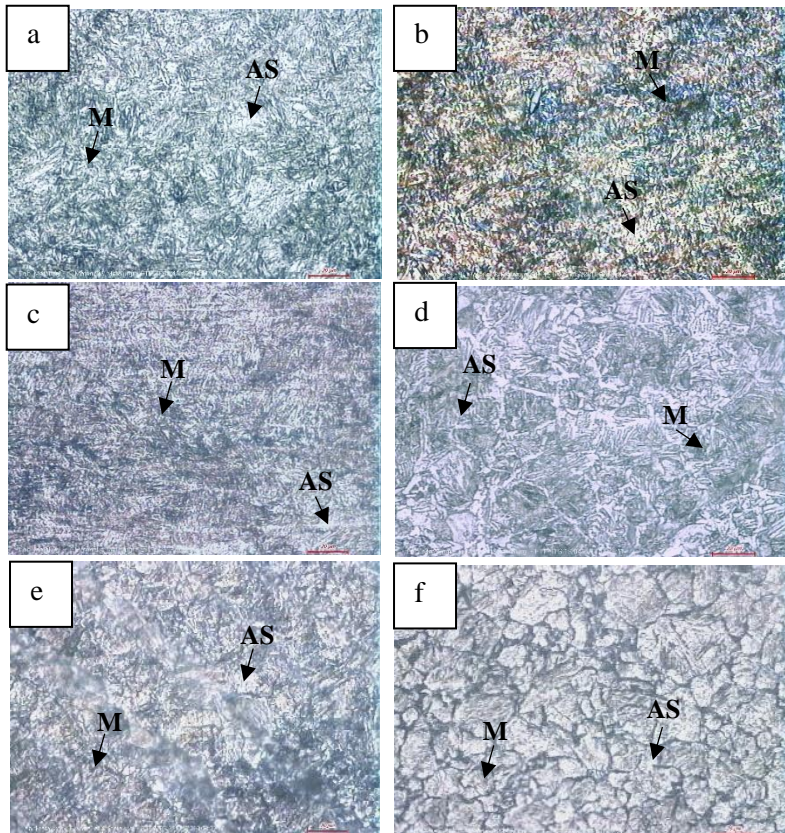
Pada pengujian struktur mikro dari material *axle shaft* sebelum diberikan perlakuan panas, didapatkan bahwa fase yang terbentuk yaitu fase perlit dan fase ferrit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Fase perlit ditunjukkan dengan daerah yang gelap dan fase ferrit ditunjukkan dengan daerah yang terang.

Setelah dilakukan *heat treatment*, pengujian struktur mikro kembali dilakukan untuk mengetahui struktur akhir yang terbentuk dengan variasi temperatur *hardening*, media pendingin, serta lamanya waktu tahan. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x, selanjutnya hasil dari uji struktur mikro material *axle shaft* ini digunakan untuk mengetahui dan membandingkan antara struktur mikro material *axle shaft* sebelum diberi perlakuan dan setelah diberikan perlakuan panas.

Pada Gambar 4.3 dan 4.4, terdapat hasil struktur mikro dari material *axle shaft* yang telah diberikan perlakuan *hardening*. Pada gambar dapat dilihat bahwa fase yang terdapat pada struktur material *axle shaft* ini setelah diberikan perlakuan berupa fase martensit yang berwarna gelap dan berbentuk seperti jarum, serta austenit sisa yang berwarna terang (putih).



Gambar 4. 3 Struktur mikro *axle shaft* setelah *hardening* dengan *quenching* media air pada (a) temperatur 850°C selama 1 jam (b) pada temperatur 850°C selama 1,5 jam (c) pada temperatur 875°C selama 1 jam (d) pada temperatur 875°C selama 1,5 jam (e) pada temperatur 900°C selama 1 jam (f) dan pada temperatur 900°C selama 1,5 jam. Dengan fase yang terbentuk yaitu martensit (M) yang berbentuk seperti jarum dan austenit sisa (AS) yang berwarna putih.



Gambar 4. 4 Struktur mikro *axle shaft* setelah *hardening* dengan *quenching* media *brine solution* pada (a) temperatur 850°C selama 1 jam (b) pada temperatur 850°C selama 1,5 jam (c) pada temperatur 875°C selama 1 jam (d) pada temperatur 875°C selama 1,5 jam (e) pada temperatur 900°C selama 1 jam dan (f) pada temperatur 900°C selama 1,5 jam. Dengan fase yang terbentuk yaitu martensit (M) yang berbentuk seperti jarum dan austenit sisa (AS) yang berwarna putih.

Untuk mengitung volume martensit yang terdapat dalam



mikrostruktur dari material, digunakan metode manual “grid” yang terdapat pada ASTM E 562. Hasil dari perhitungan tersebut tertera pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan volume martensit

Spesimen	Volume Martensit (%)
AISI 1045 P1	83,87
AISI 1045 P2	90,54
AISI 1045 P3	80,94
AISI 1045 P4	96,66
AISI 1045 P5	90,72
AISI 1045 P6	91,07
AISI 1045 P7	84,24
AISI 1045 P8	84,69
AISI 1045 P9	84,02
AISI 1045 P10	84,06
AISI 1045 P11	80,63
AISI 1045 P12	80,72

4.1.5 Hasil Pengujian Kekerasan Axle Shaft

Pengujian kekerasan digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan dari komponen *axle shaft* yang telah mengalami keausan atau *failure*. Pengujian kekerasan ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187,5A* dengan metode pengujian *Vickers*. Beban yang digunakan sebesar 100 kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini berdasarkan ASTM E92 tentang pengujian kekerasan *Vickers*. Pengujian dilakukan di beberapa titik seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pembagian daerah indentasi

Sebelum diberikan perlakuan, didapatkan bahwa nilai kekerasan pada material *axle shaft* yang mengalami keausan sebesar 169,4 HV, dimana besar kekerasan tersebut dibawah target yang ditetapkan yaitu sebesar 291 HV. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa diperlukan peningkatan nilai kekerasan dari material *axle shaft* dengan cara memberikan perlakuan panas.

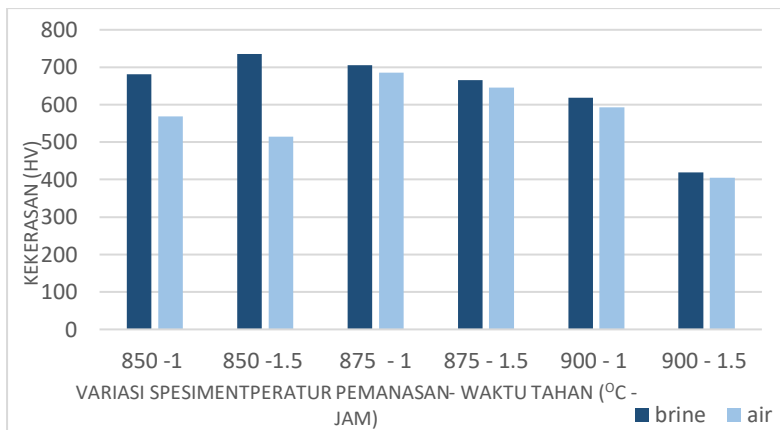
Setelah spesimen diberikan perlakuan panas, pengujian kekerasan dilakukan kembali pada permukaan setiap spesimen. Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* dengan indentasi di beberapa titik. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 4.3 serta grafik distribusi kekerasan ditunjukkan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.

Tabel 4. 3 Nilai Kekerasan Material Baja AISI 1045 setelah Perlakuan Panas

Kode Spesimen	Kekerasan (HV)
AISI 1045 TP	169,4
AISI 1045 P1	569
AISI 1045 P2	681,8
AISI 1045 P3	514,88
AISI 1045 P4	735



AISI 1045 P5	685
AISI 1045 P6	705,8
AISI 1045 P7	645,67
AISI 1045 P8	665,33
AISI 1045 P9	593,33
AISI 1045 P10	618,67
AISI 1045 P11	405,17
AISI 1045 P12	419,2



Gambar 4. 6 Grafik kekerasan material setelah perlakuan panas dengan variasi temperatur, waktu tahan, dan media pendingin

Dari data tabel 4.3 dan gambar 4.6, didapatkan bahwa secara keseluruhan, spesimen dengan nilai kekerasan paling tinggi yaitu spesimen dengan kode AISI 1045 P4 sebesar 735 HV dimana spesimen ini mendapatkan perlakuan seperti yang tertera pada



tabel 4.2. Untuk kekerasan tertinggi dari masing - masing media pendingin yaitu terdapat pada spesimen AISI 1045 P4 untuk media pendingin *brine solution* dengan nilai kekerasan yaitu 735 HV dan dari media pendingin air, spesimen dengan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu ada pada spesimen AISI 1045 P5 sebesar 695 HV.

Dari gambar 4.6, didapatkan tren nilai kekerasan untuk *brine* mencapai puncak saat dipanaskan pada temperatur 850°C lalu ditahan selama 1,5 jam, dan mencapai nilai paling rendah saat spesimen dipanaskan pada temperatur 900°C lalu ditahan selama 1,5 jam . Sedangkan untuk air, tren mencapai puncaknya saat spesimen dipanaskan pada temperatur 875°C lalu ditahan selama 1 jam. Selain itu, secara keseluruhan didapatkan juga nilai kekerasan yang lebih rendah saat ditahan selama 1,5 jam jika dibanding dengan spesimen yang ditahan selama 1 jam.

4.1.6 Hasil Pengujian Keausan *Axle Shaft* Setelah di *Heat Treatment*

Pengujian ketahanan aus dilakukan pada permukaan spesimen material *axle shaft* pada setiap variasi temperatur *hardening* dan media pendingin. Data yang diperoleh dari pengujian keausan ini berupa selisih massa antara material dari *axle shaft* sebelum dan sesudah dilakukan pengujian. Data hasil pengujian ketahanan aus disajikan pada tabel 4.4.

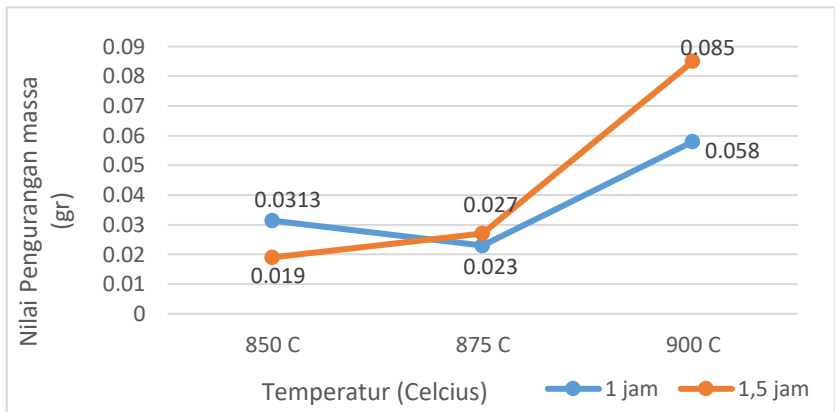
Tabel 4. 4 Rata – rata hasil pengujian ketahanan aus pada material *axle shaft* yang telah di-*hardening*

Nama Spesimen	Selisih Pengurangan Massa (gr)	Nilai Kekerasan (HV)	Keterangan Perlakuan
AISI 1045 TP	$0,86 \pm 0,121$	169,4	-
AISI 1045 P1	$0,0250 \pm 0,009$	569	850°C + 1 jam + air

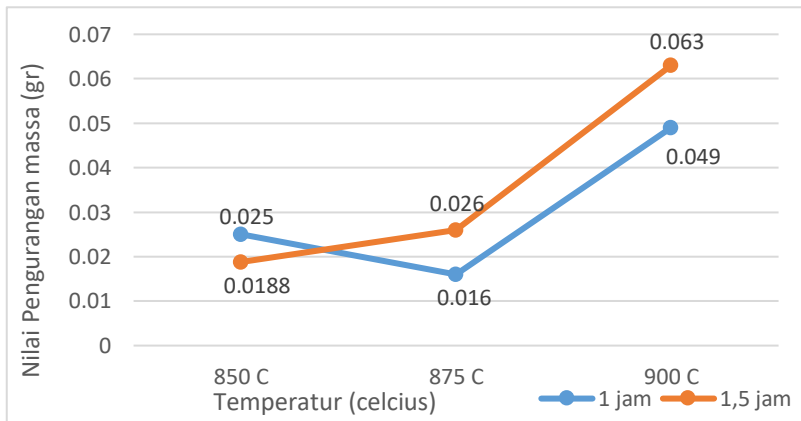


AISI 1045 P2	$0,0313 \pm 0,002$	681,8	850°C + 1 jam + brine
AISI 1045 P3	$0,0188 \pm 0,007$	514,88	850°C + 1,5 jam + air
AISI 1045 P4	$0,0190 \pm 0,004$	735	850°C + 1,5 jam + brine
AISI 1045 P5	$0,0160 \pm 0$	685	875°C + 1 jam + air
AISI 1045 P6	$0,0230 \pm 0,007$	705,8	875°C + 1 jam + brine
AISI 1045 P7	$0,0260 \pm 0,010$	645,67	875°C + 1,5 jam + air
AISI 1045 P8	$0,0270 \pm 0,004$	665,33	875°C + 1,5 jam + brine
AISI 1045 P9	$0,0490 \pm 0,021$	593,33	900°C + 1 jam + air
AISI 1045 P10	$0,0580 \pm 0,003$	618,67	900°C + 1 jam + brine
AISI 1045 P11	$0,0630 \pm 0,026$	405,17	900°C + 1,5 jam + air
AISI 1045 P12	$0,0850 \pm 0,055$	419,2	900°C + 1,5 jam + brine

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa material yang memiliki nilai selisih pengurangan massa yang paling besar terdapat pada spesimen dengan kode AISI 1045 P12 dimana spesimen tersebut mendapat perlakuan seperti yang tertera pada tabel 3.1 dengan besar selisih pengurangan massa yaitu 0,0850 gr dan nilai kekerasan sebesar 419,2 HV, serta spesimen yang memiliki nilai selisih pengurangan paling kecil yaitu spesimen dengan kode AISI 1045 P5 dimana spesimen tersebut mendapat perlakuan seperti yang tertera pada tabel 4.2 dengan nilai selisih pengurangan massa sebesar 0,0160 gr dan nilai kekerasan sebesar 695 HV.



Gambar 4. 7 Grafik selisih perubahan massa material *axle shaft* dengan variasi media pendingin *brine solution*



Gambar 4. 8 Grafik selisih perubahan massa material *axle shaft* dengan variasi media pendingin air

Dari gambar 4.7 dan 4.8, didapatkan bahwa tren grafik yang terbentuk dari kedua macam media pendingin, air dan *brine solution*, yaitu naik dari temperatur 850°C sampai temperatur



900°C untuk variasi waktu tahan selama 1,5 jam. Sedangkan untuk grafik yang menunjukkan variasi waktu tahan selama 1 jam memiliki tren turun dari temperatur 850°C sampai temperatur 875°C dan tren naik dari temperatur 875°C sampai temperatur 900°C. Dari gambar 4.9 dan gambar 4.10 juga dapat diketahui bahwa spesimen yang diberikan perlakuan dengan cara dipanaskan sampai temperatur 900°C memiliki nilai selisih pengurangan massa paling tinggi diantara temperatur lain, dengan kata lain spesimen yang dipanaskan sampai temperatur 900°C memiliki tingkat keausan yang paling tinggi diantara temperatur lain.

4.2 Pembahasan

Material *axle shaft* pada *level luffing crane* yang digunakan pada PT. PAL Indonesia (Persero) memiliki *lifetime* pemakaian selama 2-3 tahun, namun pada pemakaian setelah 3 bulan material *axle shaft* mengalami keausan yang ditunjukkan dengan perubahan dimensi dari yang tebalnya 120 mm menjadi 70 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 sehingga *level luffing crane* tidak mampu bekerja dengan baik. Hal ini terjadi karena permukaan material *axle shaft* bergesekan dan bertumbukan dengan *gear* yang sudah diberikan perlakuan yang terletak di atas *axle shaft* sehingga memberikan beban berulang pada *axle shaft*.

Berdasarkan hasil pengujian komposisi material dengan metode OES (*Optikal Emission Spectroscopy*), jenis material yang digunakan sebagai *axle shaft* adalah baja AISI 1045 dengan komposisi kimia seperti yang tertera pada tabel 4.1. Hal ini sesuai dengan yang terdapat pada ASM Metal Handbook Vol.1, dimana material 1045 merupakan salah satu material yang dapat dijadikan sebagai *axle shaft*. Namun, hal ini berbeda dengan ketentuan yang dipakai di PT. PAL Indonesia (Persero) dimana material yang seharusnya dipakai yaitu material baja AISI 4340 dengan keadaan sudah diberi perlakuan berupa *quenching* maupun *quenching-tempering*. Menurut standard yang tertera pada ASSAB, material yang dipakai untuk dijadikan komponen *axle shaft* memiliki kekerasan minimal sebesar 293-352 HB atau sama dengan 291-361



HV. Sedangkan hasil dari uji kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan yang terdapat pada material yang mengalami keausan yaitu sebesar 169,4 HV atau setara dengan 168,4 HB.

Pengujian metalografi juga dilakukan agar fase pada material *axle shaft* yang mengalami kegagalan dapat diketahui. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa fase yang terbentuk yaitu berupa fase perlit dan ferrit. Kondisi ini tidak sesuai dengan standar ASSAB yang dipakai oleh perusahaan dimana fase yang seharusnya terbentuk adalah martensit dan austenit sisa.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung, beberapa faktor yang menjadi penyebab dari keausan material *axle shaft* yaitu tidak sesuai material yang dipakai dengan standar dari spek material yang seharusnya dipakai oleh perusahaan. Seperti yang sudah dijelaskan di atas, kekerasan yang tidak memenuhi standar menyebabkan keausan terjadi dengan sangat cepat dan membuat umur pakai dari *axle shaft* berkurang dari yang seharusnya. Beberapa hal tersebutlah yang melatarbelakangi untuk dilakukan peningkatan kekerasan dari material *axle shaft* dengan perlakuan panas berupa *hardening*.

Pada penelitian ini, proses *hardening* dilakukan pada temperatur 850°C, 875°C, dan 900°C. Pemilihan temperatur *hardening* didasarkan ASM Handbook vol 4 yang menyebutkan bahwa temperatur yang dipakai untuk metode *hardening* adalah 30°C – 50°C diatas derajat austenitisasi 805°C. Dari data penelitian material yang mengalami proses *hardening* didapatkan bahwa nilai kekerasan naik $\pm 200\%$ dikarenakan terbentuknya fase martensit pada material. Hal ini berkesesuaian dengan penelitian Bhosale (2015) yang menyebutkan bahwa hasil *quenching* dari baja AISI 1045 yang dipanaskan pada temperatur 850°C mengalami peningkatan kekerasan dikarenakan terbentuknya fase martensit dan austenit sisa.

Setelah material *axle shaft* diberi perlakuan panas seperti yang tertera pada tabel 4.2, diperoleh nilai kekerasan dari masing – masing spesimen meningkat dari sebelumnya yang tidak diberikan perlakuan apa – apa. Seperti yang sudah dijelaskan pada



sub-bab 4.1.6, nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen AISI 1045 P6 dimana spesimen ini mendapat perlakuan berupa pemanasan pada temperatur 875°C dan ditahan selama 1 jam serta didinginkan dengan menggunakan *brine solution*. Jika dilihat pada gambar 4.6, dapat dilihat bahwa spesimen yang menggunakan media pendingin *brine solution* memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan media pendingin air. Hal ini disebabkan karena *brine solution* merupakan media pendingin yang memiliki *cooling rate* lebih tinggi dibanding media pendingin air dan dengan *cooling rate* yang cepat, akan mengurangi kemungkinan terbentuknya selimut uap di sekitar material yang menyebabkan kekerasannya menurun. Selimut uap yang terbentuk pada *brine solution* lebih sedikit dibandingkan dengan air dikarenakan titik didih pada *brine solution* lebih tinggi dibanding dengan air. Seperti yang bisa dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8, nilai kekerasan pada temperatur 900°C mengalami penurunan dibandingkan dengan temperatur – temperatur sebelumnya. Hal ini dikarenakan pada temperatur 900°C, butir austenit yang tumbuh lebih besar sehingga batas butir yang terbentuk lebih sedikit. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar butir yang terbentuk, maka semakin rendah kekerasannya karena daerah batas butir yang memiliki tegangan paling tinggi tidak sebanyak saat butir austenit memiliki ukuran yang lebih kecil. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Abbaschian (2009) dimana bagian yang memiliki tegangan paling besar berada pada batas butir, sehingga semakin sedikit batas butir yang terbentuk, maka tegangannya pun akan semakin menurun.

Kenaikan kekerasan dari material *axle shaft* dibuktikan dengan hasil dari uji metalografi seperti pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 yang menunjukkan adanya fase martensit yang berbentuk seperti jarum (*lath martensit*). Jika dilihat pada gambar 4.6, kekerasan tertinggi berada pada material AISI 1045 P4 (dipanaskan pada temperatur 850°C lalu ditahan selama 1,5 jam dan didinginkan dengan *brine*) , hal ini dikarenakan terdapat martensit sebanyak $\pm 96,66\%$, seperti yang terdapat pada tabel 4.3.



Semakin banyak martensit maka luas permukaan martensit juga akan semakin besar, semakin besar luas permukaan martensit maka martensit akan semakin halus sehingga menyebabkan kekerasan meningkat. Martensit terbentuk karena atom karbon terjebak saat struktur kristal bertransformasi dari FCC ke BCC, hal inilah yang menyebabkan terjadinya dislokasi dan distorsi pada struktur kristal sehingga membuat energi yang tidak stabil terjebak, serta menaikkan tegangan dalam butir dan menghasilkan kekerasan yang tinggi serta keuletan yang rendah pada martensit. Tegangan yang tinggi serta energi yang tidak stabil itulah yang menyebabkan martensit dapat terkorosi dengan mudah. Material yang terkorosi mengalami pengurangan dimensi yang menyebabkan permukaan menjadi tidak rata antara struktur martensit dan austenit. Permukaan yang tidak rata tersebut membuat tidak semua cahaya yang jatuh ke permukaan dipantulkan kembali dengan sempurna sehingga saat dilihat dengan mikroskop, martensit akan terlihat gelap sedangkan austenit terlihat lebih terang. Namun dalam perubahannya, tak semua austenit berubah menjadi martensit. Terdapat juga austenit yang tidak sempat berubah menjadi struktur martensit yang disebut sebagai austenit sisa (*retained austenit*) yang berwarna lebih terang pada gambar 4.4 dan gambar 4.5. Austenit bersifat lebih lunak daripada martensit, hal itulah yang menyebabkan material AISI 1045 P11 memiliki nilai kekerasan yang paling rendah. Nilai kekerasan yang rendah ini selain disebabkan karena volume martensit yang sedikit, sekitar $\pm 80,625$, disebabkan juga karena butir austenit yang ada terlihat memiliki ukuran yang besar dan merata. Hal ini sesuai dengan teori dari Wahid (2003) yang menyatakan bahwa banyaknya austenit yang bertransformasi menjadi martensit tidak bergantung pada waktu, tetapi tergantung pada temperatur. Makin rendah temperatur maka makin banyak martensit yang terbentuk dan selesai pada temperatur martensit *finish* (M_f). Selain itu, kenaikan kekerasan juga dibuktikan dengan hasil pengujian XRD dan perhitungannya yang terdapat pada lampiran 7, yang membuktikan bahwa spesimen dengan *residual stress* lebih tinggi memiliki nilai



kekerasan yang lebih tinggi pula.

Dari uji keausan didapatkan hasil berupa keausan yang terjadi pada spesimen dengan pendinginan menggunakan *brine solution* mengalami pengurangan massa lebih banyak daripada spesimen dengan media pendingin air. Hal ini terjadi karena meskipun memiliki kekerasan yang tinggi, material yang didinginkan dengan *brine solution* bersifat lebih rapuh sehingga ketahanan aus pada spesimen yang menggunakan media pendingin air lebih baik daripada spesimen yang menggunakan media pendingin *bine solution*. Seperti yang sudah dijelaskan pada halaman sebelumnya, secara keseluruhan selisih pengurangan massa paling sedikit terdapat pada spesimen AISI 1045 P5 yaitu sebesar 0,016 gr dimana spesimen ini merupakan spesimen yang menggunakan media pendingin air dengan nilai kekerasan tertinggi kedua sebesar 695 HV setelah spesimen AISI 1045 P4 dengan selisih pengurangan massa sebesar 0,0190 dan memiliki nilai kekerasan sebesar 735 HV. Namun saat dibandingkan dengan media pendingin yang sama, spesimen yang memiliki nilai kekerasan lebih besar memiliki selisih pengurangan massa yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan pada abrasive wear, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampn suatu baja terhadap ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media abrasif untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan beberapa pengujian yang telah dilakukan, dapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Kekerasan tertinggi dihasilkan oleh spesimen AISI 1045 P4 pada temperatur 850°C sebesar 735 HV. Sedangkan kekerasan terendah dihasilkan oleh spesimen AISI 1045 P11 pada temperature 900°C sebesar 405 HV. Dimana fase yang terbentuk pada semua temperatur yaitu *lath martensite* dan austenite sisa.
2. Pengaruh waktu tahan proses *hardening* terhadap kekerasan baja AISI 1045 secara keseluruhan sama untuk semua spesimen, dimana nilai kekerasan semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu tahan.
3. Media pendingin *brine* menghasilkan nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan media pendingin air karena volume martensit pada spesimen dengan media pendingin *brine* lebih banyak dibanding spesimen dengan media pendingin air.

5.2 Saran

1. Pada saat membeli material, selalu cek kelengkapan data material tersebut seperti jenis material, komposisi, dan fabrikasinya.
2. Pemesanan bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian sebaiknya dilakukan jauh – jauh hari agar timeline tidak mundur.
3. Setiap pengujian yang dilakukan sebaiknya diulang minimal sebanyak 3 kali agar data lebih valid.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1993. **ASM Handbook Volume 1 Heat Treatment**. USA: ASM International.
- _____. 1993. **ASM Handbook Volume 4 Heat Treatment**. USA: ASM International.
- _____. 1993. **ASM Handbook Volume 9 Heat Treatment**. USA: ASM International.
- Abbaschian, Reza. 2009. *Physical Metallurgy Principles Fourth Edition*. USA : Cengage Learning.
- Aditya, Pandu. 2017. **Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Dan Media Pendingin Proses Hardening Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hammer Crusher**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bhosale, Ajinkya. 2016. *To Study the Heat Transfer Characteristics of AISI 1045 Steel Component for Quenching Process*: International Engineering Research Journal.
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: JohnWiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.


- Dauda, M. 2015. *Effects of Various Quenching Media on Mechanical Properties of Annealed 0.509Wt%C – 0.178Wt%Mn Steel*. Nigeria : University Nigeria.
- Dickie, D.E. 1975. *Crane Handbook*. Ontario : Contractor Safety Association of Ontario.
- Higgins, R.A. 1999. *Engineering Metallurgy Part 1 Applied Physical Metallurgy Sixth Edition*. New York : Arnold.
- Ismail, Noor Mazni, dkk. 2015. *The Effect of Heat Treatment on The Hardness and Impact Properties of Medium Carbon Steel*. Malaysia : Universiti Malaysia Pahang.
- Nayan, dkk. 2009. *An Introduction to Optical Emission Spectroscopy and Laser-Aided Spectroscopy Techniques for Low-Temperature Plasma Analyses*. Malaysia: MUCET.
- Nugroho, Sri. 2005. *Pengaruh Media Quenching Air Tersikulasi (Circulated Water) Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pada Baja AISI 1045*. Semarang : Universitas Diponegoro
- Nunura, Caesar. 2014. *Numerical – experimental correlation of microstructures, coling rates and mechanical properties of AISI 1045 steel during the jominy end – quench test*. Brazil : Universidade Federal Do Rio Grande do Sul.
- Ramli, Liyana. 2017. *Control Strategies for Crane Systems: A Comprehensive Review*. Malaysia : Universiti Teknikal Malaysia Melaka.
- Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam I*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam II**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 1999. **Perlakuan Panas**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Thelning, Karl-Erik. 2000. ***Steel and Its Heat Treatment 2nd Edition***. India : Butterworth – Heinemann.
- Totten, George E. 2007. ***Steel Heat Treatment Metallurgy And Technology Second Edition***. Oregon : Taylor and Francis Group.
- Totten, George E. 2007. ***Failure Ananlysis of Heat Treated Steel Components***. Ohio : ASM International.


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji OES



PT. LOGAMINDO SARIMULIA
 IRON AND STEEL FOUNDRY
 Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542
 E-mail : Lisafoundry@gmail.com
 www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-10-F IARM 200C
 Comment: Low alloy Steel
 Sample Name: TTES S45C
 Quality: 1/29/2018 10:58:52 AM
 Element concentration

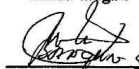
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.436	0.270	0.710	0.0183	0.0227	0.147	0.0222	0.0695
2	0.428	0.265	0.700	0.0172	0.0225	0.145	0.0213	0.0698
3	0.442	0.273	0.719	0.0185	0.0277	0.149	0.0222	0.0624
< x > (3)	0.435	0.270	0.710	0.0180	0.0243	0.147	0.0219	0.0672
sd	0.0069	0.0028	0.0095	0.00067	0.0030	0.0017	0.00053	0.0042
rsd	1.6	1.0	1.3	3.7	12.2	1.1	2.4	6.2

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0227	0.0141	0.174	< 0.0010	0.0010	0.0012	< 0.0100	< 0.0030
2	0.0211	0.0145	0.171	< 0.0010	< 0.0010	0.0011	< 0.0100	< 0.0030
3	0.0212	0.0140	0.177	< 0.0010	0.0012	0.0012	< 0.0100	< 0.0030
< x > (3)	0.0216	0.0142	0.174	< 0.0010	0.0011	0.0012	< 0.0100	< 0.0030
sd	0.00093	0.00027	0.0026	0.00000	0.00009	0.00008	0.00000	0.00000
rsd	4.3	1.9	1.5	0.0	8.6	6.7	0.0	0.0

	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0315	0.0415	< 0.0015	< 0.0040	0.0011	< 0.0030	< 0.00020	< 0.0020
2	0.0314	0.0423	< 0.0015	< 0.0040	0.00060	< 0.0030	< 0.00020	< 0.0020
3	0.0303	0.0388	< 0.0015	< 0.0040	0.00077	< 0.0030	< 0.00020	< 0.0020
< x > (3)	0.0311	0.0409	< 0.0015	< 0.0040	0.00081	< 0.0030	< 0.00020	< 0.0020
sd	0.00068	0.0018	0.00000	0.00000	0.00024	0.00000	0.00000	0.00000
rsd	2.2	4.4	0.0	0.0	28.9	0.0	0.0	0.0

	La	Fe	Sb	Te			
	%	%	%	%			
1	0.0021	98.0	0.0046	0.0015			
2	0.0021	98.0	0.0040	0.0011			
3	0.0020	98.0	0.0011	< 0.0010			
< x > (3)	0.0021	98.0	0.0033	0.0012			
sd	0.00003	0.0204	0.0019	0.00026			
rsd	1.6	0.0	57.8	21.3			

Tanda tangan



Lampiran 2
ASTM A29



A 29/A 29M – 05

TABLE 1 Grade Designations and Chemical Compositions of Carbon Steel Bars

Grade Designation	Heat Chemical Ranges and Limits, %			
	Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max ^A
	Nonresulfurized Carbon Steels ^{B,C,D,E,F}			
1044	0.43–0.50	0.30–0.60	0.040	0.050
1045	0.43–0.50	0.60–0.90	0.040	0.050
1046	0.43–0.50	0.70–1.00	0.040	0.050
1049	0.46–0.53	0.60–0.90	0.040	0.050
1050	0.48–0.55	0.60–0.90	0.040	0.050

ASTM A291



A 291 – 03

TABLE 2 Mechanical Properties

Grade	Class	Size, Solid Diameter or Thickness, in. ^A		Tensile Strength, min		Yield Strength, 0.2% Offset, min		Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %		Reduction of Area, min, %		Charpy V-notch	Brinell Hardness Number Range
		Over	Not Over	psi	MPa	psi	MPa	Longi- tudinal	Transverse (Tangential)	Longi- tudinal	Transverse (Tangential)		
1	A	...	10	85 000	585	50 000	345	22	...	45	...	...	170 to 223
		10	...	80 000	550	45 000	310	20	16	37	30	...	
2	B	...	10	95 000	655	70 000	485	20	...	45	...	...	201 to 241
		10	20	95 000	655	70 000	485	20	18	45	34	...	
		20	...	95 000	655	70 000	485	18	16	38	30	...	
3, 3A	C, D	...	10	105 000	725	80 000	550	19	...	45	...	...	223 to 262
		10	20	105 000	725	80 000	550	19	16	45	32	...	
		20	...	105 000	725	80 000	550	18	14	38	30	...	
4	E	...	10	120 000	825	95 000	655	16	...	40	...	...	248 to 293
		10	20	120 000	825	95 000	655	14	12	35	30	...	
		20	...	115 000	795	90 000	620	13	10	33	25	...	
5	F	...	10	140 000	965	115 000	795	16	...	40	...	...	285 to 331
		10	20	135 000	930	110 000	760	14	12	35	30	...	
		20	...	130 000	905	105 000	725	12	10	30	25	...	
6	G	...	10	145 000	1000	120 000	825	15	...	40	...	...	302 to 352
		10	20	140 000	965	115 000	795	14	12	35	30	...	
		20	...	135 000	930	110 000	760	12	10	30	25	...	
7	H	...	10	170 000	1375	140 000	960	14	...	35	...	...	341 to 415
		10	20	165 000	1140	135 000	930	12	10	30	25	...	
		20	...	160 000	1105	130 000	905	10	10	25	25	...	
8	I	...	10	120 000	825	85 000	585	15	...	40	...	...	255 to 302
9	J	20	...	170 000	1175	140 000	960	10	10	30	30	25	352 to 401

^A 10 in. = 250 mm. 20 in. = 500 mm.

Lampiran 3
ASSAB 705

GENERAL

ASSAB 705 is machinery steel with unique machinability. ASSAB 705 is supplied as quenched and tempered that enhances hardness and toughness distribution.

Typical analysis %	C	Mn	Cr	Ni	Mo
	0.40	0.70	0.80	1.80	0.25
Reference standard	AISI 4340, DIN 34CrNiMo6, Wnr. 1.6582, BS EN24, AFNOR 35NCD6, JIS SNCM 439				
Delivery condition	Quenched and tempered to 293-352HB				

PROPERTIES

MECHANICAL DATA

Quenched and Tempered Condition

Mechanical Properties	Typical values under supplied condition
Yield strength, Rp 0.2, N/mm ²	≥ 850
Tensile strength, N/mm ²	≥ 980
Elongation, A _g , %	≥ 14
Reduction of area, Z, %	≥ 45
Impact strength (Charpy-V at ~23°C), J/cm ²	≥ 55

Lampiran 4

Tabel Data Kekerasan

Kode Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)					Rata – Rata (HV)
	I	II	III	IV	V	
AISI 1045 TP	172	172	171	170	162	169,4
AISI 1045 P1	485	587	524	606	663	569
AISI 1045 P2	745	733	718	589	624	681,8
AISI 1045 P3	525	524	503	427	595	514,88
AISI 1045 P4	888	763	571	751	850	735
AISI 1045 P5	805	713	611	748	548	685
AISI 1045 P6	822	710	536	713	748	705,8
AISI 1045 P7	655	602	688	658	611	645,67
AISI 1045 P8	670	620	668	696	658	665,33
AISI 1045 P9	503	615	508	571	739	593,33
AISI 1045 P10	542	620	680	694	542	618,67
AISI 1045 P11	481	385	338	385	426	405,17
AISI 1045 P12	411	366	358	522	439	419,2

Lampiran 5

Tabel Data Uji Keausan

Kode Spesimen	Pengurangan Massa (gr)			Rata – rata (gr)	Stadar Deviasi
	I	II	III		
AISI 1045 TP	1	0,8	0,78	0,86	0,121
AISI 1045 P1	0,026	0,016	0,034	0,0250	0,009
AISI 1045 P2	0,031	0,03	0,033	0,0313	0,002
AISI 1045 P3	0,017	0,026	0,013	0,0188	0,007
AISI 1045 P4	0,02	0,016	0,023	0,0190	0,004
AISI 1045 P5	0,016	0,016	0,016	0,0160	0
AISI 1045 P6	0,015	0,028	0,025	0,0230	0,007
AISI 1045 P7	0,021	0,039	0,02	0,0260	0,010
AISI 1045 P8	0,031	0,023	0,024	0,0270	0,004
AISI 1045 P9	0,024	0,061	0,063	0,0490	0,021
AISI 1045 P10	0,049	0,061	0,065	0,0580	0,003
AISI 1045 P11	0,078	0,078	0,033	0,0630	0,026
AISI 1045 P12	0,056	0,148	0,05	0,0850	0,055

Lampiran 6

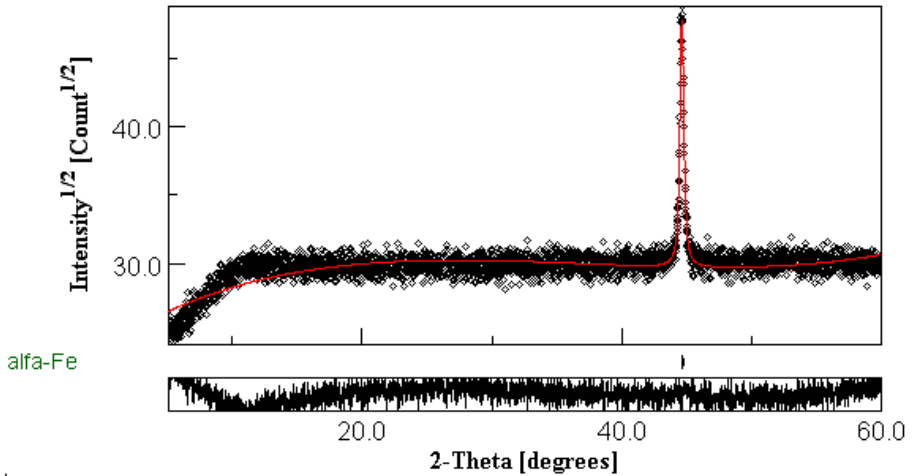
Tabel Data Perhitungan Jumlah Martensit

Kode Spesimen	Perhitungan Grid (%)				Rata - Rata	Standar Deviasi
	I	II	III	IV		
AISI 1045 P1	85,22	80	84	86,25	83,87	2,73
AISI 1045 P2	92	91,42	90	88,75	90,54	1,46
AISI 1045 P3	80	81,25	81,25	81,25	80,94	0,63
AISI 1045 P4	95	98,33	98,88	94,44	96,66	2,27
AISI 1045 P5	91,43	90	91,43	90	90,72	0,83
AISI 1045 P6	90	90	95,71	88,57	91,07	3,17
AISI 1045 P7	82,86	81,25	82,86	90	84,24	3,91
AISI 1045 P8	83,75	83,75	85	86,25	84,69	1,19
AISI 1045 P9	83,75	83,75	84,29	84,29	84,02	0,31
AISI 1045 P10	80	85	85	86,25	84,06	2,77
AISI 1045 P11	80	81,25	81,25	80	80,63	0,72
AISI 1045 P12	80	80	82,86	80	80,72	1,43

Lampiran 7

Hasil Residual XRD

- Spesimen AISI 1045 P4 (850°C – 1,5 jam – brine)



Perhitungan *residual stress* :

Modulus Elastisitas 1045 = 200 GPa = 200000 MPa

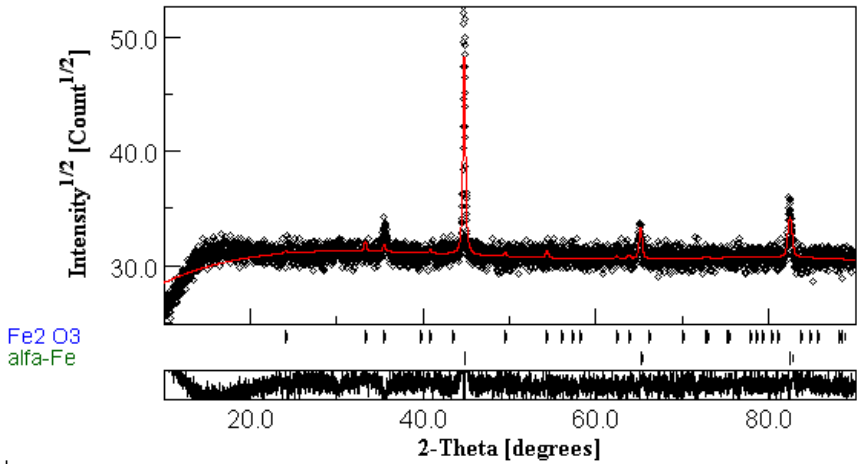
Regangan Hasil MAUD = $1,0491579\text{E-}10 = 1,0491579 \times 10^{-10}$

$\sigma = E \times \varepsilon$

$= 200000 \times 1,0491579 \times 10^{-10}$

$= 2,098 \times 10^{-5} \text{ MPa}$

- Spesimen AISI 1045 P8 (875°C – 1,5 jam – *brine*)



Perhitungan *residual stress* :

Modulus Elastisitas 1045 = 200 GPa = 200000 MPa

Regangan Hasil MAUD = 2.228031E-12 = 2.228031×10^{-12}

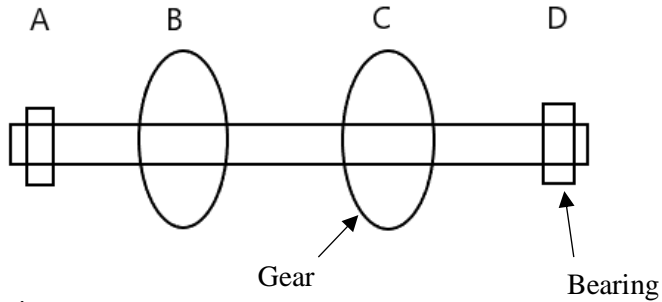
$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$= 200000 \times 2.228031 \times 10^{-12}$$

$$= 4,456 \times 10^{-7} \text{ MPa}$$

Lampiran 8

Analisa Tegangan dan Regangan



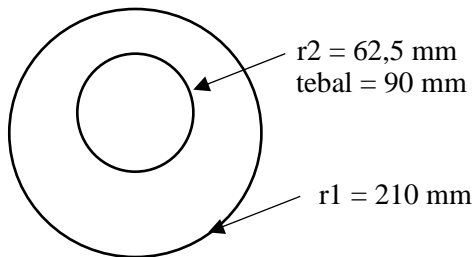
Diketahui:

$$n = 510 \text{ rpm}$$

$$P = 50 \text{ kw} = 67,0511 \text{ hp}$$

$$\rho_{1045} = 7,87 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{4340} = 7,85 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$



$$\text{Massa Gear} = \rho \times V$$

$$= 7,85 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \pi \{ (210 \times 10^{-1} \text{ cm})^2 - (62,5 \times 10^{-1} \text{ cm})^2 \} \\ \times (90 \times 10^{-1}) \text{ cm}$$

$$= 89,4 \text{ kg}$$

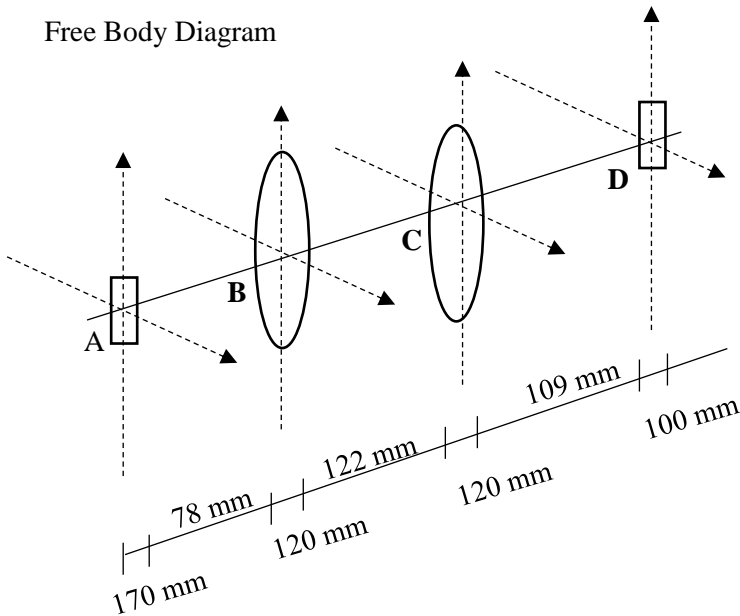
$$r = 62,5 \text{ mm}$$

Poros

$$l = 810 \text{ mm}$$

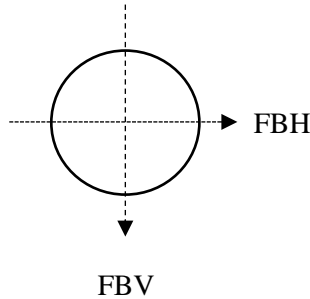
$$\begin{aligned} \text{Massa Poros} &= \rho \times V \\ &= 7,87 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \pi (62,5 \times 10^{-1} \text{ cm})^2 \times (180 \times 10^{-1}) \text{ cm} \\ &= 78,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Free Body Diagram



Pada setiap gear dan bearing memiliki 2 buah gaya yaitu gaya vertikal dan horizontal.

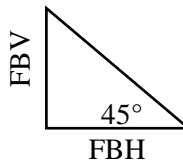
Diasumsikan gaya vertikal pada gear dinamakan FBV (gear B) dan gaya horizontal pada gear dinamakan FBH (gear C). Gear B dan gear C memiliki nilai yang sama



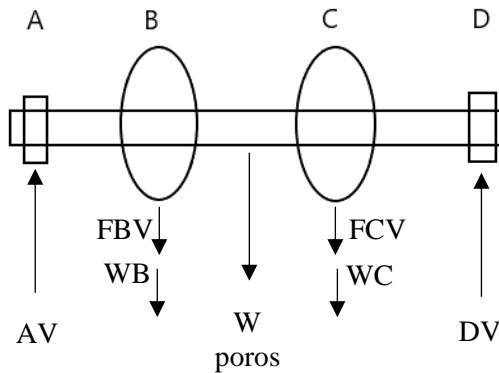
$$\begin{aligned}
 FBH &= \frac{Torsi}{jari^2} = \frac{\frac{63000hp}{rpm}}{jari^2} \\
 &= \frac{\frac{63000 \times 67,0511}{510}}{210 \times 10^{-2} m} \\
 &= \frac{8282,7 lb in}{0,21 m} = \frac{95,427 kg m}{0,21 m} \\
 &= \mathbf{454,41 kg}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan letak gear dari motor penggerak terhadap gear B dan C membentuk sudut $\theta = 45^\circ$. Sehingga nilai FBV adalah

$$\begin{aligned}
 FBV &= FBH \times \tan \theta \\
 &= 454,41 kg \times \tan 45^\circ \\
 &= \mathbf{388,1 kg}
 \end{aligned}$$



Analisa Gaya Vertikal



Untuk mencari nilai AV maka diasumsikan nilai momen pada D = 0

$$\Sigma M_D = 0$$

$$AV(649) - FBV(451) - WB(451) - WP(405) - WC(209) - FCV(209) = 0$$

AV

$$= \frac{FBV(451) + WB(451) + WP(405) + WC(209) + FCV(209)}{649}$$

$$= \frac{388,1(451) + 89,4(451) + 78,2(405) + 89,4(209) + 388,1(209)}{649}$$

$$= \mathbf{530,71 \text{ kg}}$$

Untuk mencari DV maka resultan gaya vertikal harus = 0 (Gaya ke atas = positif)

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

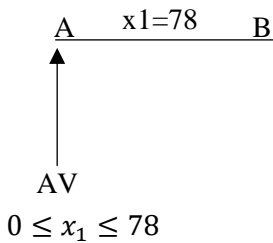
$$AV - FBV - WB - WP - FCV - WC + DV = 0$$

$$\begin{aligned} \mathbf{DV} &= FBV + WB + WP + FCV + WC - AV \\ &= 388,1 + 89,4 + 78,2 + 388,1 + 89,4 - 530,71 \end{aligned}$$

$$= 502,09 \text{ kg}$$

Setelah mendapatkan nilai dari masing-masing gaya vertical maka dilakukan Analisa momen untuk mengetahui momen mana yang paling besar. Perhitungan ini dibagi menjadi 3 potongan

- Potongan (1) – (1)



$$\Sigma M_1 = 0$$

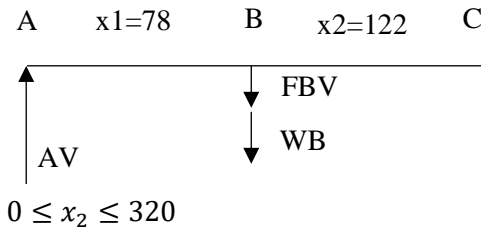
$$M_1 + AV \times x1 = 0$$

$$M_1 = -AV \times x1$$

Jika $X1 = 0 \rightarrow M_A = 0$

$$\begin{aligned} \text{Jika } X1 &= 78 \rightarrow \ddot{M}_B = -AV \times x1 \\ &= -570,71 \times 78 = -41,39 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Potongan (2) – (2)



$$0 \leq x_2 \leq 320$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

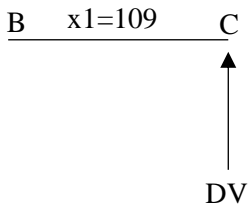
$$M_2 + AV \times (x1 + x2) - FBV \times x2 - WB \times x2 = 0$$

$$M_2 = -AV \times (x_1 + x_2) + FBV \times x_2 + WB \times x_2$$

$$\text{Jika } x_2 = 0 \rightarrow \mathbf{M_B} = -AV \times x_1 = -41,39 \text{ } kgm$$

$$\begin{aligned} \text{Jika } x_1 = 320 \rightarrow \mathbf{M_C} &= -AV(320) + FBV(122) + WB(122) \\ &= -570,71 \times 320 + 388,1 \times 122 \\ &\quad + 89,4 \times 122 \\ &= \mathbf{111,57 \text{ } kgm} \end{aligned}$$

- Potongan (3) – (3)



$$0 \leq x_3 \leq 109$$

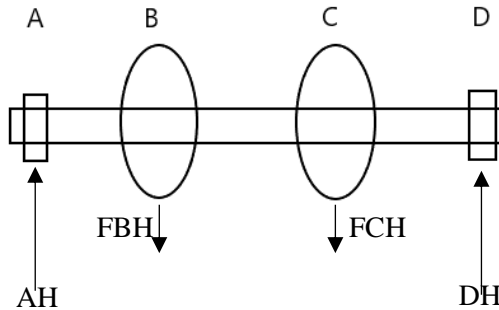
$$\Sigma M_3 = 0$$

$$M_3 + DV \times x_3 = 0$$

$$\text{Jika } x_3 = 0 \rightarrow M_D = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Jika } x_3 = 109 \rightarrow \mathbf{M_D} &= -DV \times x_3 \\ &= 502,09 \times 109 = \mathbf{54,727 \text{ } kgm} \end{aligned}$$

Analisa Gaya Horizontal



Untuk mencari nilai AH maka diasumsikan nilai momen pada D = 0

$$\Sigma M_D = 0$$

$$AH (649) - FBH (451) - FCH (209) = 0$$

$$AH = \frac{FBH (451) + FCH (209)}{649}$$

$$= \frac{454,41 (451) + 454,41 (209)}{649}$$

$$= 462,11 \text{ kg}$$

Untuk mencari DH maka resultan gaya horizontal harus = 0
(Gaya ke atas = positif)

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

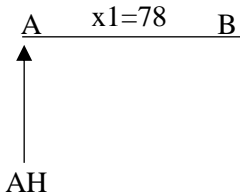
$$AH - FBH - FCH + DH = 0$$

$$DH = -AH + FBH + FCH$$

$$= -462,11 + 454,41 + 454,41$$

$$= 446,71 \text{ kg}$$

- Potongan (1) – (1)



$$0 \leq x_1 \leq 78$$

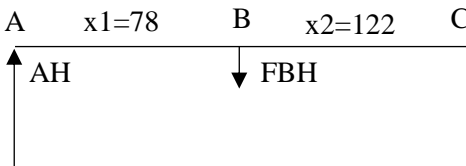
$$\Sigma M_1 = 0$$

$$M_1 + AH \times x_1 = 0$$

$$\text{Jika } x_1 = 0 \rightarrow M_A = 0$$

$$\text{Jika } x_1 = 78 \rightarrow M_B = -462,11 \times 78 = -36 \text{ } kgm$$

- Potongan (2) – (2)



$$0 \leq x_2 \leq 320$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$M_2 + AH \times (x_1 + x_2) - (FBV \times x_2) - (w_B \times x_2) = 0$$

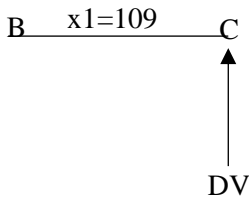
$$\text{Jika } x_2 = 0 \rightarrow M_B = AH \times x_1 = -36 \text{ } kgm$$

$$\text{Jika } x_2 = 320 \rightarrow M_C = -AH(x_1 + x_2) + (FBH \times x_2) + (w_B \times x_2)$$

$$= -AH(320) + (454,41 \times 122) + (89,4 \times 122)$$

$$= -147875,2 + 55438,02 + 10906,8 = 81,5 \text{ } kgm$$

- Potongan (3) – (3)



$$0 \leq x_2 \leq 320$$

$$\Sigma M_3 = 0$$

$$M_3 + DH \times x_3 = 0$$

$$\text{jika } x_3 = 0 \rightarrow M_D = 0$$

$$\text{jika } x_3 = 109 \rightarrow \mathbf{M_D = -446,71 \times 109 = -48,6 \text{ kgm}}$$

Maka resultan antara momen terbesar vertikal dan horizontal adalah

$$\mathbf{M = \sqrt{M_{CV}^2 + M_{CH}^2}}$$

$$= \sqrt{111,57^2 + 81,5^2} = \mathbf{138,16 \text{ kgm}}$$

Momen inersia poros adalah

$$I = \frac{1}{12} \times 78,2 \times 810^2 = 4,27 \text{ kgm}^2$$

Maka tegangan yang terjadi pada poros adalah

$$\sigma = \frac{M \times C}{I}$$

$$= \frac{69 \times 62,5}{4,27}$$

$$= \mathbf{2022,24 \text{ MPa}}$$

Diketahui nilai σ (yield strength) dari material poros yaitu 1045 adalah 450 MPa

Dapat disimpulkan bahwa nilai $> \sigma_{yield}$, maka material poros 1045 akan mengalami kegagalan

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Alm. Ayah dan Ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi, serta dukungan dana dalam mengerjakan tugas akhir dan selama berkuliah di JTMM FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc. dan Dian Mughni Felicia ST., M.Sc., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si, selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
8. Sahabat terbaik penulis yaitu Annisa Shabrina dan keluarga yang sudah penulis anggap sebagai keluarga dan sangat banyak membantu serta mendukung penulis sejak penulis memakai seragam merah – putih.
9. Teman – teman penulis dalam Genx yaitu Indah Sanubari, Alifa Hanif, Hannah Lili, Anggia Sekar, Nathania, Chaerinsyah, Arumtyas, Rika, dan Tena yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.

10. Anggota Kontrakan Princess 117/118 yaitu Sasa, Prita, Ethak, Clarissa, dan Nisya yang sudah seperti keluarga penulis di Surabaya.
11. Mahasiswa Teknik Material dengan nrp 051140000069 yang selalu menemani dan membantu penulis disaat susah maupun senang dan selalu menerima kekurangan penulis.
12. Mbak Dhani, Mas Andika, Mbak Qory, Mas Epi, Mas Majdi, Mas Yogi serta teman – teman PSDM 15/16 yang telah memberikan banyak pelajaran kepada penulis selain akademik.
13. Teman – teman Telolet yaitu Imam Prasetyo, Rustin Winarsih, Eri Dya Fadli, Fariz Riza Prayoga, dan Amy Reza yang selalu menerima kegaringan penulis dengan minimal tersenyum.
14. Adik – adik penulis tersayang di departemen PSDM 16/17 yaitu Nella, Ayun, Garias, Ejak, Atek, Galih, Aryo, dan Alfin yang membuat penulis selalu mempekerjakan otaknya agar bisa memberikan pelajaran diluar akademik.
15. Madeline Rosmariana yang sudah penulis anggap sebagai adik sendiri dan selalu kuat untuk menggendong penulis.
16. Reza Dyan Pratama dan Jourdy Praditya yang menjadi partner dalam tugas akhir penulis.
17. Vigita Maria dan Arifa Nuryani yang telah rela direpotkan oleh penulis.
18. Teman-teman seperjuangan MT16 yang memberikan banyak cerita dalam kehidupan penulis.
19. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Yogyakarta pada tanggal 11 April 1996. Meskipun lahir di Jogja, penulis besar di Kota Tangerang Selatan dan merupakan anak pertama (dari dua bersaudara) dari pasangan Sri Rejeki dan Alm. Nurwaskito Hadi. Riwayat pendidikan formal yang ditempuh oleh penulis antara lain SD Dharma Karya UT, MTs. Pembangunan UIN Jakarta, dan SMAN 70 Jakarta. Kemudian melanjutkan studi di jenjang pendidikan Sarjana Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis mengikuti beberapa kegiatan seperti pelatihan, dan organisasi. Beberapa organisasi yang pernah diikuti penulis yaitu sebagai staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia 15/16 dan sekretaris Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia 16/17 HMMT FTI-ITS, serta sebagai wakil sekretaris di *Student Chapter* INDOCOR. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktek di Divisi Konstruksi PT. Perusahaan Gas Negara (PGN) Tbk. Tugas akhir yang dikerjakan penulis di bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Perlakuan Panas *Hardening* Dengan Variasi Temperatur Pemanasan, Waktu Tahan, dan Media Pendingin Pada Peningkatan Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Komponen *Axle Shaft*”.

Email : ninur110496@gmail.com ,
annisanuramalia13@yahoo.com